



(12)

Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2023/004488**
in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2
IntPatÜbkG)
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2021 000 081.0**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/CA2021/051049**
(86) PCT-Anmeldetag: **27.07.2021**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **02.02.2023**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **23.03.2023**

(51) Int Cl.: **G06F 17/17** (2006.01)
G06Q 50/28 (2012.01)
G06Q 10/08 (2023.01)
G06Q 10/04 (2023.01)

(71) Anmelder:
KINAXIS INC., Ottawa, Ontario, CA

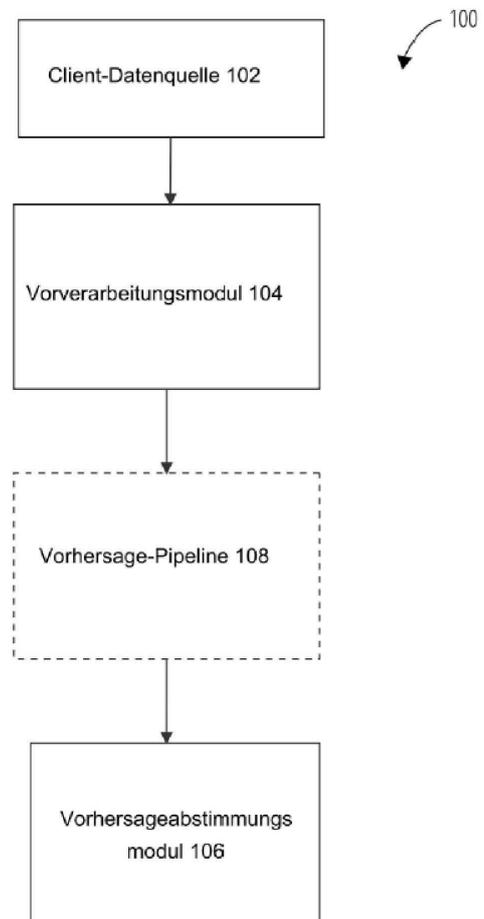
(72) Erfinder:
Haji Soleimani, Behrouz, Halifax, Nova Scotia, CA

(74) Vertreter:
**Grünecker Patent- und Rechtsanwälte PartG mbB,
80802 München, DE**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Systeme, Verfahren und Geräte für hierarchisch Vorhersagen**

(57) Zusammenfassung: Systeme und Verfahren für die Abstimmung einer Vorhersagen in einer Hierarchie, die ein Vorverarbeitungsmodul und ein Vorhersageabstimmungsmodul umfassen. Das Vorverarbeitungsmodul rekonstruiert die Struktur der Hierarchie und erfasst die Beziehung zwischen den Knoten der Hierarchie in einer Summationsmatrix S . Die Vorhersageabstimmungsmatrix verwendet die Summationsmatrix S , eine Gewichtungsmatrix W (die ein Gewichtungsschema zwischen den Knoten widerspiegelt) und eine Basisprognose, um den Gesamtvorhersagefehler unter Verwendung eines Verfahrens der kleinsten Quadrate zu optimieren. Die abgestimmte Vorhersage hat einen Konsistenzfehler von Null.



Beschreibung

Hintergrund

[0001] Unternehmen mit komplexen Lieferketten haben ein gesteigertes Interesse daran, ihren Bedarf für jedes Produkt einige Monate in der Zukunft vorherzusagen. Eine genaue Schätzung der Nachfrage hilft den Unternehmen, ihre Produktion im Voraus zu planen und gerade genug Produkte zu produzieren, um Über- und Unterbestände zu vermeiden. Es gibt inhärente Hierarchien in den Daten der Lieferkette, die genutzt und ausgenutzt werden können, um zu besseren Vorhersagen und Prognosen der Nachfrage zu gelangen. Beispielsweise werden Produkte von verschiedenen Kunden bestellt, und die Nachfrage für jede Produkt-Kunden-Kombination kann separat prognostiziert und zur Gesamtnachfrage nach Produkten aggregiert werden, also beispielsweise vereinigt werden. Alternativ kann die Gesamtnachfrage nach einem Produkt auch direkt aus den aggregierten historischen Nachfragen prognostiziert werden. In jedem Fall besteht die Aggregationsbedingung, dass die Summe der Nachfrage nach einem Produkt von verschiedenen Kunden der Gesamtnachfrage nach einem Produkt entsprechen muss. Wird jedoch die künftige Nachfrage auf den verschiedenen Hierarchieebenen getrennt prognostiziert, so addieren sich die Vorhersagen nicht korrekt. Aus diesem Grund prognostizieren die meisten Unternehmen ihre Nachfrage nur auf der am stärksten aufgeschlüsselten Ebene einer Hierarchie (z. B. für jede Produkt-Kunden-Kombination).

[0002] Hierarchien können auf viele verschiedene Arten definiert werden und können viele Ebenen haben. Beispielsweise kann eine Hierarchie auf geografischen Regionen basieren - so dass die Gesamtnachfrage nach einem Produkt gleich der Summe der Nachfragen aus verschiedenen Ländern ist und die Nachfrage eines bestimmten Landes gleich der Summe der Nachfragen aus verschiedenen Regionen/Bezirken dieses Landes ist. Eine andere Möglichkeit, eine Hierarchie zu definieren, ist auf der Grundlage einer Produktfamilie. So ist beispielsweise die Gesamtnachfrage nach Fernsehgeräten in einem Elektronikunternehmen gleich der Summe der Nachfrage nach verschiedenen Größen oder Modellen von Fernsehgeräten. Hierarchien können auch auf der Grundlage von Zeitdimensionen definiert werden. So sollte beispielsweise die Summe der wöchentlichen Nachfrage der monatlichen oder vierteljährlichen Nachfrage entsprechen.

[0003] Aufgrund der komplizierten Natur des Problems prognostizieren die meisten Unternehmen ihre Nachfrage nur auf einer Ebene einer Hierarchie. In der Regel handelt es sich dabei um die Ebene, von der ein Unternehmen glaubt, dass sie am genauesten ist oder für das Unternehmen am sinnvollsten ist.

Dennoch ist jede einzelne Vorhersage mit einem Fehler behaftet. Die Addition der einzelnen Vorhersagen innerhalb der Hierarchie führt zu einem kumulativen Fehler in der Gesamtvorhersage, der recht groß sein kann.

[0004] Im Bereich der Zeitreihenvorhersage hat Hyndman den optimalen Abgleich von Vorhersagen in zeitlichen Hierarchien untersucht, einschließlich des optimalen Vorhersageabstimmung für hierarchische und gruppierte Zeitreihen durch Spurminimierung. Diese Studie lässt sich jedoch nicht ohne weiteres auf die Organisation von Vorhersagen für Lieferketten übertragen.

[0005] Daher besteht die Notwendigkeit, die Gesamtvorhersageaktivität durch Minimierung des Gesamtvorhersagefehlers zu verbessern. Darüber hinaus besteht die Notwendigkeit, eine Vorhersageabstimmung für Nicht-Zeitreihen-Hierarchien, wie z. B. Lieferketten, bereitzustellen.

Kurze Zusammenfassung

[0006] Hierin werden Systeme und Verfahren beschrieben, die die Vorhersage auf verschiedenen Ebenen einer Hierarchie berücksichtigen und die Gesamtvorhersage durch Reduzierung des Gesamtvorhersagefehlers der Hierarchie verbessern können. In einigen Ausführungsformen werden Informationen über die Beziehungen innerhalb der Hierarchie verwendet, um inkonsistente Vorhersagen verschiedener Ebenen als Eingabe zu verwenden und die Vorhersagen so abzustimmen, dass sie vollständig konsistent werden, so dass sie sich korrekt addieren. Darüber hinaus wird die Gesamtgenauigkeit der Vorhersagen über die gesamte Hierarchie hinweg verbessert.

[0007] In einem Aspekt wird ein computerimplementiertes Verfahren zur Vorhersagebestimmung (auch als Verfahren zum Prognoseabgleich bezeichnet) in einer Hierarchie bereitgestellt, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst: Empfangen von Daten, die sich auf die Hierarchie beziehen, durch ein Vorverarbeitungsmodul; Erzeugen der Hierarchie auf der Grundlage der Daten und einer Summationsmatrix, die sich auf eine Struktur der Hierarchie bezieht, durch das Vorverarbeitungsmodul; Empfangen einer Basisvorhersage der Hierarchie, der Summationsmatrix und einer Gewichtungsmatrix durch ein Vorhersageabstimmungsmodul, wobei die Gewichtungsmatrix ein Gewichtungsschema für jeden Knoten der Hierarchie widerspiegelt, wobei die Gewichtungsmatrix entweder durch das Vorverarbeitungsmodul oder das Vorhersageabstimmungsmodul erzeugt wird; Erzeugen, durch das Vorhersageabstimmungsmodul, einer abgestimmten Vorhersage auf der Grundlage einer Optimierungstechnik der kleinsten Quadrate zum Projizieren der

Basisvorhersage auf eine unterste Ebene der Hierarchie, abhängig von einer Bedingung für jeden Knoten der untersten Ebene der Hierarchie.

[0008] In einigen Ausführungsformen basiert die abgestimmte Vorhersage auf einer nichtnegativen Kleinstquadrat-Optimierungstechnik. In einigen Ausführungsformen basiert die abgestimmte Vorhersage auf einer iterativen Optimierung, bei der jeder Knoten der Vorhersage der untersten Ebene innerhalb eines entsprechenden Bereichs begrenzt wird. In einigen Ausführungsformen bezieht sich jeder Eintrag der Gewichtungsmatrix auf eine oder mehrere Metriken der Hierarchie; die Gewichtungsmatrix kann in einigen Fällen diagonal sein. In einigen Ausführungsformen bezieht sich jeder Eintrag der Gewichtungsmatrix auf einen Vorhersagefehler (auch als Prognosefehler bezeichnet) jedes Knotens der Hierarchie. In einigen Ausführungsformen führt das Vorverarbeitungsmodul mindestens einen der folgenden Schritte aus: i) Entfernen eines oder mehrerer Knoten der Hierarchie, die einen Nullwert oder einen Wert unter einem Schwellenwert aufweisen; ii) Auffüllen eines oder mehrerer fehlender Datensätze der Hierarchie auf der Grundlage von Geschwisterinformationen; und iii) Extrahieren von rollierenden Merkmalen auf allen Ebenen der Hierarchie.

[0009] In einem anderen Aspekt wird eine Rechenvorrichtung zur Vorhersageabstimmung in einer Hierarchie bereitgestellt, wobei die Rechenvorrichtung umfasst: einen Prozessor; und einen Speicher, der Anweisungen speichert, die, wenn sie von dem Prozessor ausgeführt werden, die Vorrichtung für die folgenden Schritte konfigurieren: Empfangen von Daten, die sich auf eine Hierarchie beziehen, durch ein Vorverarbeitungsmodul; Erzeugen der Hierarchie auf der Grundlage der Daten und einer Summationsmatrix, die sich auf eine Struktur der Hierarchie bezieht, durch das Vorverarbeitungsmodul; Empfangen einer Basisvorhersage der Hierarchie, der Summationsmatrix und einer Gewichtungsmatrix durch ein Vorhersageabstimmungsmodul, wobei die Gewichtungsmatrix ein Gewichtungsschema für jeden Knoten der Hierarchie widerspiegelt, wobei die Gewichtungsmatrix entweder durch das Vorverarbeitungsmodul oder das Vorhersageabstimmungsmodul erzeugt wird; Erzeugen, durch das Vorhersageabstimmungsmodul, einer abgestimmten Vorhersage auf der Grundlage einer Optimierungstechnik der kleinsten Quadrate zum Projizieren der Basisvorhersage auf eine unterste Ebene der Hierarchie, abhängig von einer Bedingung für jeden Knoten der untersten Ebene der Hierarchie.

[0010] In einigen Ausführungsformen basiert die abgestimmte Vorhersage auf einer nicht-negativen Kleinst-Quadrat-Optimierungstechnik. In einigen Ausführungsformen basiert die abgestimmte Vorhersage auf einer iterativen Optimierung, bei der jeder

Knoten der Vorhersage der untersten Ebene innerhalb eines entsprechenden Bereichs begrenzt wird. In einigen Ausführungsformen bezieht sich jeder Eintrag der Gewichtungsmatrix auf eine oder mehrere Metriken der Hierarchie; die Gewichtungsmatrix kann in einigen Fällen diagonal sein. In einigen Ausführungsformen bezieht sich jeder Eintrag der Gewichtungsmatrix auf einen Vorhersagefehler jedes Knotens der Hierarchie. In einigen Ausführungsformen führt das Vorverarbeitungsmodul mindestens einen der folgenden Schritte durch: i) Entfernen eines oder mehrerer Knoten der Hierarchie, die einen Nullwert oder einen Wert unter einem Schwellenwert aufweisen; ii) Auffüllen eines oder mehrerer fehlender Datensätze der Hierarchie auf der Grundlage von Geschwisterinformationen; und iii) Extrahieren von rollierenden Merkmalen auf allen Ebenen der Hierarchie.

[0011] In einem anderen Aspekt wird ein nicht-transitorisches, computerlesbares Speichermedium zur Vorhersageabstimmung in einer Hierarchie bereitgestellt, wobei das computerlesbare Speichermedium Anweisungen enthält, die, wenn sie von einem Computer ausgeführt werden, den Computer veranlassen: Empfangen von Daten, die sich auf eine Hierarchie beziehen, durch ein Vorverarbeitungsmodul; Erzeugen der Hierarchie auf der Grundlage der Daten und einer Summationsmatrix, die sich auf eine Struktur der Hierarchie bezieht, durch das Vorverarbeitungsmodul; Empfangen einer Basisvorhersage der Hierarchie, der Summationsmatrix und einer Gewichtungsmatrix durch ein Vorhersageabstimmungsmodul, wobei die Gewichtungsmatrix ein Gewichtungsschema für jeden Knoten der Hierarchie widerspiegelt, wobei die Gewichtungsmatrix entweder durch das Vorverarbeitungsmodul oder das Vorhersageabstimmungsmodul erzeugt wird; Erzeugen, durch das Vorhersageabstimmungsmodul, einer abgestimmten Vorhersage auf der Grundlage einer Optimierungstechnik der kleinsten Quadrate zum Projizieren der Basisvorhersage auf eine unterste Ebene der Hierarchie, abhängig von einer Bedingung für jeden Knoten der untersten Ebene der Hierarchie.

[0012] In einigen Ausführungsformen basiert die abgestimmte Vorhersage auf einer nicht-negativen Kleinst-Quadrat-Optimierungstechnik. In einigen Ausführungsformen basiert die abgestimmte Vorhersage auf einer iterativen Optimierung, bei der jeder Knoten der Vorhersage der untersten Ebene innerhalb eines entsprechenden Bereichs begrenzt wird. In einigen Ausführungsformen bezieht sich jeder Eintrag der Gewichtungsmatrix auf eine oder mehrere Metriken der Hierarchie; die Gewichtungsmatrix kann in einigen Fällen diagonal sein. In einigen Ausführungsformen bezieht sich jeder Eintrag der Gewichtungsmatrix auf einen Vorhersagefehler jedes Knotens der Hierarchie. In einigen Ausführungs-

rungsformen führt das Vorverarbeitungsmodul mindestens einen der folgenden Schritte durch: i) Entfernen eines oder mehrerer Knoten der Hierarchie, die einen Nullwert oder einen Wert unter einem Schwellenwert aufweisen; ii) Auffüllen eines oder mehrerer fehlender Datensätze der Hierarchie auf der Grundlage von Geschwisterinformationen; und iii) Extrahieren von rollierenden Merkmalen auf allen Ebenen der Hierarchie.

[0013] In einem anderen Aspekt wird ein computerimplementiertes Verfahren zur Reduzierung eines Vorhersagefehlers in einer Hierarchie bereitgestellt, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst: Empfangen von Daten, die sich auf eine Hierarchie beziehen, durch ein Vorverarbeitungsmodul; Erzeugen der Hierarchie auf der Grundlage der Daten und einer Summationsmatrix, die sich auf eine Struktur der Hierarchie bezieht, durch das Vorverarbeitungsmodul; Empfangen einer Basisvorhersage der Hierarchie, der Summationsmatrix und einer Gewichtungsmatrix durch ein Vorhersageabstimmungsmodul, wobei die Gewichtungsmatrix ein Gewichtungsschema für jeden Knoten der Hierarchie widerspiegelt, wobei die Gewichtungsmatrix entweder durch das Vorverarbeitungsmodul oder das Vorhersageabstimmungsmodul erzeugt wird; Erzeugen, durch das Vorhersageabstimmungsmodul, einer abgestimmten Vorhersage auf der Grundlage einer Optimierungstechnik der kleinsten Quadrate zum Projizieren der Basisvorhersage auf eine unterste Ebene der Hierarchie, abhängig von einer Bedingung für jeden Knoten der untersten Ebene der Hierarchie.

[0014] In einigen Ausführungsformen basiert die abgestimmte Vorhersage auf einer nicht-negativen Kleinste-Quadrate-Optimierungstechnik. In einigen Ausführungsformen basiert die abgestimmte Vorhersage auf einer iterativen Optimierung, bei der jeder Knoten der Vorhersage der untersten Ebene innerhalb eines entsprechenden Bereichs begrenzt wird. In einigen Ausführungsformen bezieht sich jeder Eintrag der Gewichtungsmatrix auf eine oder mehrere Metriken der Hierarchie; die Gewichtungsmatrix kann in einigen Fällen diagonal sein. In einigen Ausführungsformen bezieht sich jeder Eintrag der Gewichtungsmatrix auf einen Vorhersagefehler jedes Knotens der Hierarchie. In einigen Ausführungsformen führt das Vorverarbeitungsmodul mindestens einen der folgenden Schritte durch: i) Entfernen eines oder mehrerer Knoten der Hierarchie, die einen Nullwert oder einen Wert unter einem Schwellenwert aufweisen; ii) Auffüllen eines oder mehrerer fehlender Datensätze der Hierarchie auf der Grundlage von Geschwisterinformationen; und iii) Extrahieren von rollierende Merkmale auf allen Ebenen der Hierarchie.

[0015] In einem anderen Aspekt wird eine Rechenvorrichtung zum Reduzieren eines Vorhersagefehlers in einer Hierarchie bereitgestellt, wobei die Rechenvorrichtung umfasst: einen Prozessor; und einen Speicher, der Anweisungen speichert, die, wenn sie von dem Prozessor ausgeführt werden, die Vorrichtung für die folgenden Schritte konfigurieren: Empfangen von Daten, die sich auf eine Hierarchie beziehen, durch ein Vorverarbeitungsmodul; Erzeugen der Hierarchie auf der Grundlage der Daten und einer Summationsmatrix, die sich auf eine Struktur der Hierarchie bezieht, durch das Vorverarbeitungsmodul; Empfangen einer Basisvorhersage der Hierarchie, der Summationsmatrix und einer Gewichtungsmatrix durch ein Vorhersageabstimmungsmodul, wobei die Gewichtungsmatrix ein Gewichtungsschema für jeden Knoten der Hierarchie widerspiegelt, wobei die Gewichtungsmatrix entweder durch das Vorverarbeitungsmodul oder das Vorhersageabstimmungsmodul erzeugt wird; Erzeugen, durch das Vorhersageabstimmungsmodul, einer abgestimmten Vorhersage auf der Grundlage einer Optimierungstechnik der kleinsten Quadrate zum Projizieren der Basisvorhersage auf eine unterste Ebene der Hierarchie, abhängig von einer Bedingung für jeden Knoten der untersten Ebene der Hierarchie.

[0016] In einigen Ausführungsformen basiert die abgestimmte Vorhersage auf einer nicht-negativen Kleinste-Quadrate-Optimierungstechnik. In einigen Ausführungsformen basiert die abgestimmte Vorhersage auf einer iterativen Optimierung, bei der jeder Knoten der Vorhersage der untersten Ebene innerhalb eines entsprechenden Bereichs begrenzt wird. In einigen Ausführungsformen bezieht sich jeder Eintrag der Gewichtungsmatrix auf eine oder mehrere Metriken der Hierarchie; die Gewichtungsmatrix kann in einigen Fällen diagonal sein. In einigen Ausführungsformen bezieht sich jeder Eintrag der Gewichtungsmatrix auf einen Vorhersagefehler jedes Knotens der Hierarchie. In einigen Ausführungsformen führt das Vorverarbeitungsmodul mindestens einen der folgenden Schritte durch: i) Entfernen eines oder mehrerer Knoten der Hierarchie, die einen Nullwert oder einen Wert unter einem Schwellenwert aufweisen; ii) Auffüllen eines oder mehrerer fehlender Datensätze der Hierarchie auf der Grundlage von Geschwisterinformationen; und iii) Extrahieren von rollierenden Merkmalen auf allen Ebenen der Hierarchie.

[0017] In einem anderen Aspekt wird ein nicht-transistorisches computerlesbares Speichermedium zum Reduzieren eines Vorhersagefehlers in einer Hierarchie bereitgestellt, wobei das computerlesbare Speichermedium Anweisungen enthält, die, wenn sie von einem Computer ausgeführt werden, den Computer veranlassen Empfangen von Daten, die sich auf eine Hierarchie beziehen, durch ein Vorverarbeitungsmodul.

dul; Erzeugen der Hierarchie auf der Grundlage der Daten und einer Summationsmatrix, die sich auf eine Struktur der Hierarchie bezieht, durch das Vorverarbeitungsmodul; Empfangen einer Basisvorhersage der Hierarchie, der Summationsmatrix und einer Gewichtungsmatrix durch ein Vorhersageabstimmungsmodul, wobei die Gewichtungsmatrix ein Gewichtungsschema für jeden Knoten der Hierarchie widerspiegelt, wobei die Gewichtungsmatrix entweder durch das Vorverarbeitungsmodul oder das Vorhersageabstimmungsmodul erzeugt wird; Erzeugen, durch das Vorhersageabstimmungsmodul, einer abgestimmten Vorhersage auf der Grundlage einer Optimierungstechnik der kleinsten Quadrate zum Projizieren der Basisvorhersage auf eine unterste Ebene der Hierarchie, abhängig von einer Bedingung für jeden Knoten der untersten Ebene der Hierarchie.

[0018] In einigen Ausführungsformen basiert die abgestimmte Vorhersage auf einer nichtnegativen Kleinstquadrat-Optimierungstechnik. In einigen Ausführungsformen basiert die abgestimmte Vorhersage auf einer iterativen Optimierung, bei der jeder Knoten der Vorhersage der untersten Ebene innerhalb eines entsprechenden Bereichs begrenzt wird. In einigen Ausführungsformen bezieht sich jeder Eintrag der Gewichtungsmatrix auf eine oder mehrere Metriken der Hierarchie; die Gewichtungsmatrix kann in einigen Fällen diagonal sein. In einigen Ausführungsformen bezieht sich jeder Eintrag der Gewichtungsmatrix auf einen Vorhersagefehler jedes Knotens der Hierarchie. In einigen Ausführungsformen führt das Vorverarbeitungsmodul mindestens einen der folgenden Schritte durch: i) Entfernen eines oder mehrerer Knoten der Hierarchie, die einen Nullwert oder einen Wert unter einem Schwellenwert aufweisen; ii) Auffüllen eines oder mehrerer fehlender Datensätze der Hierarchie auf der Grundlage von Geschwisterinformationen; und iii) Extrahieren von rollierenden Merkmalen auf allen Ebenen der Hierarchie.

[0019] Die Einzelheiten einer oder mehrerer Ausführungsformen des Gegenstands dieser Beschreibung sind in den beigefügten Zeichnungen und der nachstehenden Beschreibung dargelegt. Andere Merkmale, Aspekte und Vorteile des Gegenstandes werden aus der Beschreibung, den Zeichnungen und den Ansprüchen ersichtlich.

[0020] Gleiche Bezugsnummern und Bezeichnungen in den verschiedenen Zeichnungen bezeichnen gleiche Elemente.

Figurenliste

[0021] Um die Erörterung eines bestimmten Elements oder einer bestimmten Handlung leicht erkennen zu können, beziehen sich die höchstwertige(n) Ziffer(n) in einer Bezugsnummer auf die Nummer

der Abbildung, in der dieses Element zuerst eingeführt wird.

Fig. 1 zeigt eine Systemarchitektur in Übereinstimmung mit einer Ausführungsform.

Fig. 2 zeigt ein Blockdiagramm in Übereinstimmung mit einer Ausführungsform.

Fig. 3 zeigt ein Beispiel für eine Hierarchie gemäß einer Ausführungsform.

Fig. 4 zeigt eine Hierarchievorhersage gemäß einer Ausführungsform.

Fig. 5 zeigt eine Hierarchievorhersage gemäß einer Ausführungsform.

Fig. 6 zeigt eine Tabelle mit Symbolen.

Fig. 7 zeigt eine Vorhersageabstimmungsstruktur gemäß einer Ausführungsform.

Fig. 8 zeigt die Auswertung einer Projektionsmatrix gemäß einer Ausführungsform.

Fig. 9 zeigt die Auswertung einer Projektionsmatrix gemäß einer Ausführungsform.

Fig. 10 zeigt ein Flussdiagramm gemäß einer Ausführungsform.

Fig. 11 zeigt ein Flussdiagramm gemäß einer Ausführungsform.

Fig. 12 zeigt ein Flussdiagramm einer Vorhersageabstimmung gemäß einer Ausführungsform.

Fig. 13 zeigt einen Vergleich von Basisvorhersagefehlern und abgestimmten Vorhersagefehlern gemäß einer Ausführungsform.

Fig. 14 zeigt zwei Diagramme des Bedarfs in Abhängigkeit vom Datum gemäß einer Ausführungsform.

Detaillierte Beschreibung

[0022] Hierin werden Systeme und Verfahren für hierarchische Vorhersagen (auch als Prognosen bezeichnet) beschrieben, die Vorhersagen abgleichen und alle Vorhersagen über eine gesamte Hierarchie hinweg konsistent machen, wodurch das Problem der Inkonsistenz, das bei früheren Versuchen auftrat, gelöst wird. Darüber hinaus verwenden diese Systeme und Verfahren Informationen aus allen Ebenen der Hierarchie, um den Gesamtfehler über die gesamte Hierarchie zu reduzieren.

[0023] **Fig. 1** zeigt eine Systemarchitektur 100 gemäß einer Ausführungsform.

[0024] In einigen Ausführungsformen umfasst das hierarchische Vorhersagesystem ein Vorverarbeitungsmodul 104 und ein Vorhersageabstimmungsmodul 106. Die beiden Module können in jede bestehende Vorhersage-Pipeline 108 eingefügt werden,

wodurch beliebige Sätze von Vorhersagen konsistent und mit verbesserter Genauigkeit (durch Verringerung des gesamten Vorhersagefehlers) erstellt werden. Dies ermöglicht es den Unternehmen, bestehende maßgeschneiderte Vorhersagelösungen in Verbindung mit dem hierin offengelegten hierarchischen Vorhersagesystem und -verfahren zu verwenden.

[0025] Die Client-Datenquelle 102 liefert Informationen über die Struktur einer Hierarchie (von einem Client), so dass die Hierarchie rekonstruiert werden kann. In einigen Ausführungsformen baut das Vorverarbeitungsmodul 104 die Hierarchie und die Beziehungen zwischen den Knoten der Hierarchie sowie die Datenaggregation für höhere Ebenen der Hierarchie auf.

[0026] In einigen Ausführungsformen entfernt das Vorverarbeitungsmodul 104 Knoten, die sehr kleine Werte (d. h. weniger als einen Schwellenwert) oder den Wert Null haben. Solche kleinen Mengen tragen nur wenig zur Abstimmung der Vorhersagen bei, machen die Struktur jedoch komplexer.

[0027] In einigen Ausführungsformen kann das Vorverarbeitungsmodul 104 fehlende Datensätze auf der Grundlage von Geschwisterinformationen auffüllen. Das heißt, das Vorverarbeitungsmodul 104 kann die Hierarchie ausnutzen, um fehlende Informationen aufzufüllen.

[0028] In einigen Ausführungsformen kann das Vorverarbeitungsmodul 104 rollierende Merkmale (engl. rolling features) auch als rollende oder wälzende Merkmale (d. h. auf Verzögerung basierende Merkmale, also Verzögerungsmerkmale) auf allen Ebenen der Hierarchie extrahieren. In einigen Ausführungsformen kann eine solche Extraktion unter Verwendung von Statistiken der rollierenden Merkmale der Kinder in den Eltern durchgeführt werden, wenn Daten für höhere Ebenen aggregiert werden.

[0029] Das Vorhersageabstimmungsmodul 106 stellt sicher, dass die Vorhersagen konsistent sind und einen insgesamt reduzierten Vorhersagefehler aufweisen. Das Vorhersageabstimmungsmodul 106 umfasst ein Optimierungsverfahren, welches die Vorhersagen konsistent und genauer macht. In einigen Ausführungsformen kann die Optimierung während des Vorhersageabstimmung eingeschränkt werden. Bei der Vorhersage eines Bedarfs in einer Lieferkette sollte beispielsweise eine negative Zahl in der Vorhersage nicht zulässig sein. In einigen Ausführungsformen können sowohl uneingeschränkte als auch eingeschränkte Formen der Vorhersageabstimmung von einem Benutzer auf der Grundlage der Geschäftsanforderungen des Unternehmens konfiguriert werden.

[0030] In einigen Ausführungsformen kann ein allgemeines Gewichtungsschema für die Optimierung verwendet werden. In einigen Ausführungsformen kann das Gewichtungsschema einzelnen Knoten während der Optimierung einen Wichtigkeitswert zuweisen, der auf unternehmensspezifischen Wichtigkeitswerten oder Metriken basiert. In einigen Ausführungsformen umfassen diese Metriken/Werte die Kosten von Produkten, das Auftragsvolumen, die Fehlerquote von Vorhersagen usw. In solchen Fällen kann das Gewichtungsschema durch das Vorverarbeitungsmodul erstellt werden. In einigen Ausführungsformen kann das Gewichtungsschema dem Vorhersagefehler jedes Knotens einen Wichtigkeitswert zuweisen. In solchen Fällen wird das Gewichtungsschema im Anschluss an die Vorhersage-Pipeline 108 entwickelt, da die Vorhersage-Pipeline 108 die Fehlerschätzungen für jeden Knoten in der Hierarchie liefert.

[0031] Fig. 2 zeigt ein Blockdiagramm 200 in Übereinstimmung mit einer Ausführungsform eines dynamischen Bedarfsermittlungssystems.

[0032] Das Blockdiagramm 200 umfasst einen System-Server 202, eine Client-Datenquelle 216 und eine Client-Vorhersage-Pipeline 218. Der Systemserver 202 kann einen Speicher 210, eine Festplatte 204, einen Prozessor 212, ein Vorverarbeitungsmodul 208 und ein Vorhersageabstimmungsmodul 206 umfassen. Obwohl ein Prozessor 212 dargestellt ist, kann der Systemserver 202 einen oder mehrere Prozessoren umfassen. In einigen Ausführungsformen kann der Speicher 210 ein flüchtiger Speicher sein, während es sich bei der Festplatte 204 um einen nichtflüchtigen Speicher handeln kann. In einigen Ausführungsformen kann der Systemserver 202 mit der Client-Datenquelle 216 und der Client-Vorhersage-Pipeline 218 über das Netzwerk 214 kommunizieren.

[0033] Das Blockdiagramm 200 kann auch zusätzliche Merkmale und/oder Funktionen enthalten. Zum Beispiel kann der System-Server 202 auch zusätzlichen Speicher (austauschbar und/oder nicht austauschbar) enthalten, einschließlich, aber nicht beschränkt auf magnetische oder optische Platten oder Bänder. Ein solcher zusätzliche Speicher ist in Fig. 2 durch den Speicher 210 und die Festplatte 204 dargestellt. Zu den Speichermedien können flüchtige und nichtflüchtige, entfernbare und nicht entfernbare Medien gehören, die in einem beliebigen Verfahren oder einer beliebigen Technologie zur Speicherung von Informationen wie computerlesbaren Anweisungen, Datenstrukturen, Programmmodulen oder anderen Daten implementiert sind. Der Speicher 210 und die Festplatte 204 sind Beispiele für nicht flüchtige, computerlesbare Speichermedien. Zu den nicht transitorischen computerlesbaren Speichermedien gehören unter anderem Random Access

Memory (RAM), Read-Only Memory (ROM), Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory (EEPROM), Flash-Speicher und/oder andere Speichertechnologien, Compact Disc Read-Only Memory (CD-ROM), Digital Versatile Discs (DVD) und/oder andere optische Speichermedien, Magnetkassetten, Magnetbänder, Magnetplattenspeicher oder andere magnetische Speichervorrichtungen und/oder jedes andere Medium, das zur Speicherung der gewünschten Informationen verwendet werden kann und auf das der Systemserver 202 zugreifen kann. Jedes dieser nichtübertragbaren, computerlesbaren Speichermedien kann Teil des System-Servers 202 sein.

[0034] Die Kommunikation zwischen dem System-Server 202, der Client-Datenquelle 216 und der Client-Vorhersagepipeline 218 über das Netzwerk 214 kann über verschiedene Netzwerktypen erfolgen. Nicht einschränkende Beispiel-Netzwerktypen können Fibre Channel, Small Computer System Interface (SCSI), Bluetooth, Ethernet, Wi-fi, Infrared Data Association (IrDA), Local Area Networks (LAN), Wireless Local Area Networks (WLAN), Wide Area Networks (WAN) wie das Internet, Serial und Universal Serial Bus (USB) umfassen. Im Allgemeinen kann die Kommunikation zwischen verschiedenen Komponenten des Blockdiagramms 200 über festverdrahtete, zellulare, Wi-Fi- oder Bluetooth-vernetzte Komponenten oder Ähnliches erfolgen. In einigen Ausführungsformen können ein oder mehrere elektronische Geräte des Systems 200 Cloud-basierte Funktionen enthalten, wie z.B. Cloud-basierte Speichermöglichkeiten.

[0035] Die Client-Datenquelle 216 kann eine Vielzahl von Rohdaten von einem Client bereitstellen. Sie kann genügend Informationen enthalten, um eine Hierarchie zu rekonstruieren - einschließlich der Struktur der Hierarchie und der Beziehungen zwischen verschiedenen Knoten der Hierarchie.

[0036] Über das Netzwerk 214 kann der Systemserver 202 Daten von der Client-Datenquelle 216 abrufen und auf die Client-Vorhersagepipeline 218 zugreifen. Die abgerufenen Daten können im Speicher 210 oder auf der Festplatte 204 gespeichert werden. In einigen Fällen kann der Systemserver 202 auch einen Webserver umfassen und Ressourcen in einem Format formatieren, das für die Anzeige in einem Webbrowser geeignet ist.

[0037] Fig. 3 zeigt ein Beispiel für eine Hierarchie 300 gemäß einer Ausführungsform. Die Beispielhierarchie 300 ist eine Hierarchie von Teilen und Kunden, mit drei Ebenen: Ebene 0 302 (die Wurzel und/oder die gesamten Daten); Ebene 1 304 (Teil/SKU-Ebene); und Ebene 2 306 (Teil-Kunden-Ebene). Acht Knoten sind gekennzeichnet als: A1, A2, A3, B1, B2, A, B, Daten). Es gibt 5 Knoten (A1, A2, A3, B1, B2) auf Ebene 2 306, zwei Knoten (A, B) auf

Ebene 1 304 und einen Knoten (Daten) auf Ebene 0 302. In einer Ausführungsform einer Lieferkette kann die Hierarchie mehrere Ebenen und Tausende von Knoten umfassen.

[0038] Während die Hierarchie 300 eine Kunden-Teile-Hierarchie darstellt, kann es verschiedene Formen einer Hierarchie geben.

[0039] In einem nicht einschränkenden Beispiel ist die Hierarchie eine geografische Hierarchie, wobei die verschiedenen Ebenen der Hierarchie verschiedene geografische Regionen darstellen. Beispielsweise kann die unterste Ebene die wichtigsten Regionen eines Landes darstellen; die mittlere Ebene kann verschiedene Länder repräsentieren; und die oberste Ebene kann die Welt insgesamt darstellen. In einer Lieferkettenhierarchie sollte beispielsweise die Summe des prognostizierten Bedarfs aus jeder Region (des Landes A) an den Knoten A1, A2 und A3 dem prognostizierten Bedarf (für das Land A) am Knoten A entsprechen. Ebenso sollte die Summe des prognostizierten Bedarfs aus jeder Region (des Landes B) an den Knoten B1 und B2 dem prognostizierten Bedarf (für das Land B) am Knoten B entsprechen. Schließlich sollte die Summe der prognostizierten Nachfrage aus Land A an Knoten A und Land B an Knoten B der weltweiten prognostizierten Nachfrage auf Ebene 0 302 (Daten) entsprechen.

[0040] In einem nicht einschränkenden Beispiel ist die Hierarchie eine Produkthierarchie, wobei die verschiedenen Ebenen der Hierarchie verschiedene Typen (z. B. Größe, Marke, Modell) eines Produkts darstellen. Die Summe der Nachfrage nach verschiedenen Typen/Größen des Produkts sollte der gesamten Produktnachfrage entsprechen.

[0041] In einem nicht einschränkenden Beispiel ist die Hierarchie eine ereigniszeitbasierte Hierarchie, bei der die verschiedenen Ebenen der Hierarchie verschiedene Zeiträume der Nachfrage darstellen. Die Summe der wöchentlichen Nachfrage (Ebene 2 306) sollte der monatlichen/quartalsweisen Nachfrage (Ebene 1 304) entsprechen, die wiederum der jährlichen Nachfrage (Ebene 0 302) entsprechen sollte.

[0042] Fig. 4 zeigt eine Hierarchievorhersage 400 gemäß einer Ausführungsform.

[0043] Es wird eine ideale Vorhersage 402 gezeigt, bei der die Knoten die folgenden Vorhersagewerte haben: A1 = 20, A2 = 30 und A3 = 50; B1 = 80 und B2 = 70; A = 100; B = 150; und Daten = 250. Zu bemerken ist in 402: A1 + A2 + A3 = A; B1 + B2 = B; und A + B = Daten. Das heißt, die Summe aller Vorhersagen für eine Gruppe von Zweigen auf einer Ebene entspricht der Vorhersage für den darüber lie-

genden Knoten; und die Summe aller Vorhersagen auf einer Ebene entspricht der Vorhersage für die darüber liegende Ebene.

[0044] In der Realität addieren sich die Vorhersagen auf den verschiedenen Ebenen jedoch nicht immer, da die Vorhersagen auf den verschiedenen Ebenen unabhängig voneinander erstellt werden. Die reale Vorhersage 404 veranschaulicht dieses Phänomen. Zum Beispiel ist die Summe der Vorhersagen für die Knoten A1, A2 und A3: $A1 + A2 + A3 = 100$, während die Vorhersage für den Knoten A tatsächlich 110 beträgt. Es besteht eine Diskrepanz von +10, d.h. $A - (A1 + A2 + A3) = 10$. In ähnlicher Weise ist die Summe der Vorhersagen für die Knoten B1 und B2: $B1 + B2 = 150$, während die Vorhersage für den Knoten B tatsächlich 170 beträgt. Es besteht eine Diskrepanz von +20, d. h. $B - (B1 + B2) = 20$. Außerdem beträgt die Summe der Vorhersagen für die Knoten A und B: $A + B = 280$, während die Vorhersagen für Daten 230 beträgt. Es ergibt sich eine Diskrepanz von -50, d. h. $\text{Daten} - (A + B) = -50$.

[0045] Die Diskrepanz auf jeder Ebene wird als „Konsistenzfehler“ bezeichnet. Dieser unterscheidet sich vom Vorhersagefehler, der der Fehler ist, der mit jeder Vorhersage (d.h. an jedem Knoten) verbunden ist. Beispiel: A1 hat eine Vorhersage von 20. Diese Vorhersage für A1 ist in **Fig. 4** zwar nicht dargestellt, aber mit einer Unsicherheit verbunden, z. B. $A1 = 20$ plus oder minus 2. Jeder Knoten hat seinen eigenen Vorhersagefehler, der von einem Algorithmus geliefert wird, der jede Vorhersage formuliert.

[0046] In den hier vorgestellten Systemen und Verfahren der hierarchischen Vorhersage werden die Vorhersagen auf jeder Ebene der Hierarchie so aufeinander abgestimmt, dass der Konsistenzfehler gleich Null ist. Eine optimale Vorhersage wird auf der untersten Ebene (d. h. der am stärksten zergliederten Ebene) ermittelt; diese optimalen Vorhersagen der untersten Ebene werden addiert, um die Vorhersagen der höheren Ebene zu berechnen, wobei ein Konsistenzfehler von Null zugrunde gelegt wird.

Ableich der Vorhersagen

[0047] **Fig. 5** zeigt eine Hierarchievorhersage gemäß einer Ausführungsform. Die Beispielhierarchie 500 hat acht Knoten (z. B. A1, A2, A3, B1, B2, A, B, Daten), die von eins bis acht indiziert sind. Fünf Knoten (A1, A2, A3, B1, B2) befinden sich auf der untersten Ebene der Hierarchie; zwei Knoten (A, B) befinden sich auf der mittleren Ebene und ein Knoten (Daten) auf der höchsten Ebene der Hierarchie. In einigen Ausführungsformen, in denen die Hierarchie eine Lieferkette darstellt, kann die Hierarchie mehrere Ebenen und Tausende von Knoten haben.

[0048] Da der Konsistenzfehler Null ist, sind die abgestimmten Vorhersagen 502 jedes der acht Knoten die Summe der untergeordneten Vorhersageknoten, wobei die Knoten der untersten Ebene eine optimale Vorhersage 506 für die unterste Ebene haben. Die unterste Ebene ist auch als bottom level bezeichnet. Die Beziehung zwischen den abgestimmten Vorhersagen 502 und der optimalen untersten Ebene Vorhersage 506 ist durch Gleichung 508 gegeben, in der die Summationsmatrix 504 auf die optimale unterste Ebene Vorhersage 506 angewendet wird, um die abgestimmten Vorhersagen 502 zu erhalten. Die Summationsmatrix 504 ist für das in der Hierarchie 500 dargestellte Beispiel eine 8×5 -Matrix, während die optimale unterste Ebene Vorhersage 506 ein 5×1 -Vektor und die abgestimmten Vorhersagen 502 ein 8×1 -Vektor sind. Dies bedeutet:

$$\tilde{y} = S\beta \quad (1)$$

[0049] **Fig. 6** zeigt eine Tabelle mit Symbolen 600, die die verschiedenen Einheiten zusammenfasst, die zur Beschreibung der Vorhersageabstimmung in einigen Ausführungsformen verwendet werden.

[0050] Das Problem, die abgestimmten Vorhersagen zu finden, wird nun auf die Suche nach den optimalen Vorhersagen auf der untersten Ebene verlagert. In einigen Ausführungsformen können die Vorhersagen der untersten Ebene mit Hilfe einer Projektionsmatrix geschätzt werden, die die Vorhersagen aller Ebenen auf die unterste Ebene abbildet. Auf diese Weise werden alle Vorhersagen auf allen Ebenen verwendet, um die optimale Projektion auf die unterste Ebene zu finden:

$$\beta = P\hat{y} \quad (2)$$

[0051] In Gleichung (3) ist y ein Vektor, der die Basisvorhersagen darstellt (d. h. ein Vektor der Vorhersagen, die von der Vorhersage-Pipeline 108 von **Fig. 1** an allen Knoten in der Hierarchie erzeugt wurden). Daher wird das Problem, die optimalen Vorhersagen für die unterste Ebene zu finden, nun dahingehend geändert, die optimale Projektion P zu finden, die die Basisvorhersagen optimal auf die unterste Ebene der Hierarchie abbildet. Sobald die optimale Projektion P gefunden ist, können die abgestimmten Vorhersagen anhand der folgenden Formel berechnet werden:

$$\tilde{y} = SP\hat{y} \quad (3)$$

[0052] Mit dieser Formel werden die Basisvorhersagen zunächst mit Hilfe der Projektion P auf die unterste Ebene abgebildet, und dann werden die Vorhersagen der untersten Ebene mit Hilfe der in **Fig. 5** definierten Summationsoperation S auf alle Ebenen aggregiert. Die Aggregationsoperation garantiert eine 100%ige Konsistenz über die

gesamte Hierarchie hinweg, da alle Vorhersagen der höheren Ebene auf der Basis der untersten Ebene berechnet werden.

[0053] Fig. 7 veranschaulicht einen Vorhersageabstimmungsrahmen 700 gemäß einer Ausführungsform unter Bezugnahme auf die obigen Gleichungen (1) - (3). In Fig. 7 ist die Gleichung (3) 702 in zwei Schritte unterteilt: Projektion der untersten Ebene 704 und Aggregation auf alle Ebenen 706.

[0054] In Gleichung (1) werden die abgestimmten Vorhersagen (d. h. der Vektor der abgestimmten Vorhersagen an allen Knoten) durch die Basisvorhersagen (d. h. den Vektor der Vorhersagen an allen Knoten) ersetzt und das System der linearen Gleichungen für den Vektor der optimalen Vorhersagen auf der untersten Ebene (β) unter Verwendung eines OLS (Ordinary Least Squares) -Algorithmus gelöst, was Folgendes ergibt:

$$\beta = (S^T S)^{-1} S^T \hat{y} \quad (4)$$

[0055] In Gleichung (4) ist S^T die Transponierte der Summationsmatrix S . Vergleicht man Gleichung (2) und (4), so ergibt sich die Projektionsmatrix P wie folgt:

$$P = (S^T S)^{-1} S^T \quad (5)$$

[0056] Die in P definierte Projektionsoperation ist eine lineare Transformation, was bedeutet, dass jede Vorhersage der untersten Ebene in β eine gewichtete lineare Kombination aller Vorhersagen ist. Nach der Berechnung der Projektionsmatrix P können alle Basisvorhersagen auf die unterste Ebene projiziert und wieder nach oben aggregiert werden. Dadurch kann der Algorithmus in Verbindung mit bestehenden Vorhersage-Pipelines verwendet werden.

[0057] Fig. 8 zeigt die Auswertung einer Projektionsmatrix 800 gemäß einer Ausführungsform, wie sie durch Gleichung (4) und Gleichung (5) definiert ist. Die unterste Ebene Vorhersage β ist in Gl. (4) 802 dargestellt, wodurch die Projektionsmatrix P identifiziert wird.

Verallgemeinerte Vorhersageübereinstimmung

[0058] Die OLS-Lösung (siehe Gleichung (5)) kann zu einer gewichteten Optimierung verallgemeinert werden, bei der ein Gewicht für jeden der Knoten des Baums während der Optimierung berücksichtigt werden kann. In dieser verallgemeinerten Form kann die Projektionsmatrix P mit Hilfe eines Verfahrens der verallgemeinerten kleinsten Quadrate (engl. Generalized Least Squares (GLS)) gefunden werden:

$$P = (S^T W S)^{-1} S^T W \quad (6)$$

[0059] Wenn W diagonal ist, wird die GLS als Weighted Least Squares (WLS) bezeichnet. Gl. (6) ist in Fig. 9 dargestellt, wo das Äquivalent von Gl. (6) 902 zusammen mit Beispielen für verschiedene Ausführungsformen der Gewichtungsmatrix W dargestellt ist. Man beachte, dass Gleichung (6) allgemein ist - die Gewichtungsmatrix W kann auf die Identitätsmatrix gesetzt werden, wenn kein bestimmtes Gewichtungsschema verwendet wird.

[0060] Die Hierarchie wird einmal aufgebaut und durch die Summationsmatrix S definiert. In der Beispielhierarchie 300 ist die Gewichtungsmatrix W eine 8×8 -Matrix. In einigen Ausführungsformen ist W eine Diagonalmatrix (d. h. alle nichtdiagonalen Elemente sind 0 und nur die Diagonalelemente - 8 Elemente, die 8 Knoten entsprechen - sind ungleich Null). Beispiele hierfür sind die Umkehrung der Fehlerquote der Basisvorhersagen, das Auftragsvolumen in jedem Knoten, die Gesamtkosten/der Wert der Aufträge in jedem Knoten usw. Die nichtdiagonalen Elemente gewichten die Beziehung zwischen den Knoten.

[0061] In einigen Ausführungsformen wird die Umkehrung der Fehlerquote der Basisvorhersagen als diagonale Einträge der Gewichtungsmatrix W verwendet. In solchen Ausführungsformen ist die Projektion auf die unterste Ebene der Hierarchie ein Best Linear Unbiased Estimate (BLUE).

[0062] Dieses Gewichtungsschema kann so erweitert werden, dass ein Kunde einen beliebigen geschäftsspezifischen Wichtigkeitswert oder eine Metrik verwenden kann, die er wünscht. In einigen Ausführungsformen kann einem Knoten eine Bedeutung zugewiesen werden, die auf dem Auftragsvolumen in diesem Knoten basiert. In einigen Ausführungsformen kann die Bedeutung eines Knotens auf der Grundlage der Gesamtkosten der Artikel in diesem Knoten zugewiesen werden. In einigen Ausführungsformen kann die Wichtigkeit verschiedenen Ebenen der Hierarchie zugeordnet werden. Wie man sieht, kann die Wichtigkeit auch jeder anderen Metrik zugewiesen werden.

[0063] Diese Gewichte bestimmen die Wichtigkeit der einzelnen Elemente in der Optimierung bei der Suche nach der Projektion. Wenn beispielsweise ein erstes Produkt zehnmal so oft bestellt wird wie ein zweites Produkt, dann hat das erste Produkt einen größeren Einfluss auf die Vorhersageabstimmung. In einigen Ausführungsformen wird eine Kombination aus Fehlerquote und Volumen/Kosten verwendet, so dass ein umsatzstärkstes Produkt mit niedriger Fehlerquote den größten Einfluss auf den Abgleich hat.

[0064] Fig. 10 zeigt ein Flussdiagramm 1000 gemäß einer Ausführungsform der hierarchischen Vorhersage. In Schritt 1004 empfängt das Vorverarbeitungsmodul 104 (von Fig. 1) Daten, die den Aufbau einer Hierarchie ermöglichen. Beispielsweise kann das Vorverarbeitungsmodul Datensätze oder Tabledaten mit einer Reihe von Schlüsselspalten empfangen, die den Hierarchieebenen entsprechen. In Schritt 1006 baut das Vorverarbeitungsmodul 104 die Hierarchie und die Datenaggregation auf und erzeugt in Schritt 1008 eine Summationsmatrix S in Bezug auf die Hierarchie. In der in Fig. 10 gezeigten Ausführungsform wird in Schritt 1008 auch die Gewichtungsmatrix W erzeugt. In diesem Fall bezieht sich die Gewichtungsmatrix W auf die Metriken der einzelnen Knoten in der Hierarchie. Diese Informationen werden dann in die bestehende Vorhersage-Pipeline 108 (von Fig. 1) eingefügt, die in Schritt 1010 eine Vorhersage für alle Artikel und alle Ebenen (d. h. eine Basisvorhersage) erstellt. In Schritt 1012 empfängt das Vorhersageabstimmungsmodul 106 (von Fig. 1) die Basisvorhersagen und stimmt in Schritt 1014 die Vorhersage ab und optimiert sie, um in Schritt 1016 eine abgestimmte Vorhersage zu erstellen.

[0065] Fig. 11 zeigt ein Flussdiagramm 1100 gemäß einer Ausführungsform der hierarchischen Vorhersage. In Schritt 1104 empfängt das Vorverarbeitungsmodul 104 (von Fig. 1) Daten, die den Aufbau einer Hierarchie ermöglichen. Beispielsweise kann das Vorverarbeitungsmodul Datensätze oder Tabledaten mit einer Reihe von Schlüsselspalten empfangen, die den Hierarchieebenen entsprechen. In Schritt 1106 baut das Vorverarbeitungsmodul 104 die Hierarchie und die Datenaggregation auf und erzeugt in Schritt 1108 eine Summationsmatrix S in Bezug auf die Hierarchie. Diese Informationen werden dann in die bestehende Vorhersage-Pipeline 108 (von Fig. 1) eingefügt, die in Schritt 1110 eine Vorhersage für alle Artikel und alle Ebenen (d. h. eine Basisvorhersage) erstellt. In der in Fig. 12 gezeigten Ausführungsform wird in Schritt 1112 die Gewichtungsmatrix W erstellt. Hier steht W in Beziehung zu den Vorhersagefehlern an jedem Knoten, von denen jeder in Schritt 1110 erzeugt wird. In Schritt 1114 empfängt das Vorhersageabstimmungsmodul 106 (von Fig. 1) die Basisvorhersagen und gleicht in Schritt 1116 die Vorhersage ab und optimiert sie, um in Schritt 1118 eine abgestimmte Vorhersage zu erstellen.

Beschränkte Vorhersageabstimmung

[0066] Wie oben beschrieben, passt die GLS-Optimierung (Generalized Least Squares) die Vorhersagen so an, dass der Gesamtvorhersagefehler reduziert wird, und stellt sicher, dass sich die abgestimmten Vorhersagen korrekt addieren (d. h. der Konsistenzfehler ist Null). Dies führt jedoch

dazu, dass einige der Vorhersagen einen negativen Wert haben. In verschiedenen Anwendungen gibt es jedoch bereichsspezifische Beschränkungen. Wenn zum Beispiel die Nachfrage nach Produkten prognostiziert wird, kann die abgestimmte vorhergesagte Nachfrage nicht negativ sein. Die Integration einer solchen Bedingung ist jedoch nicht trivial oder dem Optimierungsalgorithmus bekannt. Um dieses nicht triviale Problem zu lösen, werden während der Optimierung Nicht-Negativitätsbeschränkungen eingeführt. In diesem modifizierten Ansatz wird ein NNLS-Algorithmus (Non-Negative Least Squares) verwendet, um die abgestimmten Vorhersagen β auf unterster Ebene zu finden, wobei die Einschränkung gilt, dass sie nicht negativ sein dürfen:

$$\beta = \arg \min_{\beta} \|S\beta - \hat{y}\|_2 \quad \text{Bedingung für } \beta > 0 \quad (7)$$

[0067] Diese Form der Optimierung unterscheidet sich von der Methode der gewichteten kleinsten Quadrate dadurch, dass es keine geschlossene Form der Lösung gibt. Die OLS und die WLS haben beide geschlossene Lösungen, die direkt durch Lösen der Gleichungen (5) bzw. (6) erhalten werden können. Die eingeschränkte Form der Optimierung erfordert jedoch eine iterative Optimierung und numerische Lösungsverfahren.

[0068] Die NNLS in Gleichung (7) kann mit einer Methode der aktiven Menge gelöst werden, bei der die Menge der aktiven Nebenbedingungen bei jeder Kandidatenlösung beibehalten wird. Eine Nebenbedingung wird als aktiv bezeichnet, wenn die Kandidatenlösung genau auf dem Rand liegt, was bedeutet, dass geringfügige Änderungen der Lösung diese Nebenbedingungen verletzen können. Die aktive Menge bestimmt, welche Nebenbedingungen das Endergebnis der Optimierung beeinflussen. Die durch die eingeschränkte Optimierung gefundene Lösung ist möglicherweise nicht die optimale Antwort im Sinne eines minimalen Gesamtfehlers, aber sie garantiert, dass die Lösung alle Einschränkungen erfüllt und daher im machbaren Bereich des Suchraums optimal ist.

[0069] In einigen Ausführungsformen kann jede beliebige Form einer Ungleichheitsbedingung für jeden Knoten im Baum verwendet werden. Wenn beispielsweise eine vorhergesagte Größe zwischen einer Untergrenze und einer Obergrenze liegen muss, kann eine BVLS-Optimierung (Bounded-Variable Least Squares) verwendet werden:

$$\beta = \arg \min_{\beta} \|S\beta - \hat{y}\|_2 \quad \text{Bedingung für } l > \beta > u \quad (8)$$

[0070] In einigen Ausführungsformen kann jeder Knoten in der Hierarchie seine eigene untere und obere Schrankenbedingung haben. Die Methode

der begrenzten variablen kleinsten Quadrate (Bounded-Variable Least Squares, BVLS) ist ebenfalls eine iterative Optimierung, die numerische Lösungsverfahren erfordert. Ähnlich wie NNLS verwendet auch BVLS eine Active-Set-Strategie, mit dem Unterschied, dass es zwei Sätze aktiver Beschränkungen unterhält: einen für aktive untere und einen für aktive obere Beschränkungen. Auf diese Weise ist bei jeder Iteration der Optimierung bekannt, welche Beschränkungen wahrscheinlich verletzt werden, so dass die Optimierung entsprechend gelenkt werden kann.

[0071] Diese Art der beschränkten Optimierung mit willkürlichen Beschränkungen ist für viele Anwendungen in der Lieferkette nützlich. Wenn ein Unternehmen beispielsweise weiß, dass die tatsächliche Lieferung eines Produkts nicht höher sein kann als eine Zahl, die auf der Produktionskapazität oder den Fertigungsbeschränkungen basiert, kann diese Information in die Optimierung einbezogen werden, indem die Obergrenze für die vorhergesagten Werte festgelegt wird.

[0072] In einigen Ausführungsformen kann die NNLS-Optimierung auch mit der BVLS gelöst werden, indem die untere Grenze auf Null und die obere Grenze auf unendlich gesetzt wird. Da die BVLS jedoch rechnerisch etwas langsamer ist als die NNLS, weil bei jeder Iteration zwei Sätze von Beschränkungen beibehalten und überprüft werden müssen, wird die Variante mit nichtnegativen Beschränkungen mit der NNLS-Optimierung gelöst. Die entwickelten Lösungen für hierarchische Vorhersagen bestimmen die richtige Optimierungstechnik auf der Grundlage der Benutzerkonfiguration, so dass der Benutzer keine Kenntnisse über den zugrundeliegenden Mechanismus und die Optimierung haben muss.

[0073] Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die hier vorgestellten Methoden und Systeme der hierarchischen Vorhersage den Konsistenzfehler vollständig beseitigen und gleichzeitig eine Verringerung des gesamten Vorhersagefehlers garantieren.

[0074] Fig. 12 zeigt ein Flussdiagramm 1200 einer Vorhersageabstimmung gemäß einer Ausführungsform. Die Legende 1202 gibt einige der Symbole im Flussdiagramm an.

[0075] In Schritt 1204 werden die Summationsmatrix S , die Gewichtungsmatrix W und die Basisvorhersage y^{\wedge} , in der Zeichnung teilweise als auch y mit Dach gekennzeichnet, eingegeben. Die Summationsmatrix S wird aus der Hierarchie gebildet. Die Gewichtungsmatrix W wird auf der Grundlage der Kundenpräferenz erstellt; sie kann vor der Vorhersagepipeline erstellt werden. Wenn W die Basisvorhersagefehler enthält, wird sie alternativ nach der Vorhersagepipeline konstruiert, da die

Vorhersagepipeline die Basisvorhersagefehler erzeugt.

[0076] Die Summationsmatrix S ist eine $m \times n$ -Matrix; die Gewichtungsmatrix W ist eine $m \times m$ -Matrix, und y hat ist ein $m \times 1$ -Vektor, wobei „ m “ die Gesamtzahl der Knoten in der Hierarchie und „ n “ die Gesamtzahl der Knoten in der untersten Ebene der Hierarchie bezeichnet.

[0077] In Schritt 1206 findet die Initialisierung der Iteration statt. Zu Beginn wird die Menge der passiven Nebenbedingungen Q , ein $n \times 1$ -Vektor, auf leer gesetzt; die Kandidatenlösung C wird auf Null gesetzt, ebenso wie die abgestimmten Vorhersagen β (die ein $n \times 1$ -Vektor sind). Die Menge der aktiven Nebenbedingungen R , ein $n \times 1$ -Vektor, wird für die „ n “ untersten Knoten in der Hierarchie definiert. Der Fehlervektor „ e “ ist ein $n \times 1$ -Vektor. Die Komponenten bezeichnen den Projektionsfehler an jedem der untersten Knoten in der Hierarchie. Anfänglich ist $e = S^T W y^{\wedge}$.

[0078] Von Schritt 1208 bis Schritt 1214 wird der Satz aktiver und passiver Beschränkungen berechnet; bei Entscheidung 1216 wird ein Teil der Lösung auf Negativität geprüft. Wenn es keine Negativität gibt, dann werden ein neuer iterierter Fehlervektor e und ein abgestimmter Vorhersagevektor β in Schritt 1218 berechnet. In Schritt 1208 werden die duale Bedingung eines nicht-nullen Satzes aktiver Beschränkungen R und der maximale Fehler für mit R verbundene Knoten getestet. Wenn die Testbedingung in 1208 nicht erfüllt ist, endet der iterative Prozess mit der in Schritt 1228 berechneten abgestimmten Vorhersage. Wenn beide Bedingungen, wie in Schritt 1208 gezeigt, erfüllt sind, wird der Schritt 1210 bis zur Entscheidung 1216 wiederholt.

[0079] Wenn bei der Entscheidung 1216 ein Teil der Kandidatenlösung C_Q negativ ist, werden die Schritte 1220 und 1222 durchgeführt, um die Negativität zu beseitigen; die Menge der passiven Bedingungen Q und die Menge der aktiven Bedingungen R werden bei Schritt 1224 aktualisiert. Die Kandidatenlösung C wird berechnet, gefolgt von der Berechnung eines neuen iterierten Fehlervektors e und des abgestimmten Vorhersagevektors β in Schritt 1218. Wenn die Testbedingung in Schritt 1208 nicht erfüllt ist, endet der iterative Prozess mit der in Schritt 1228 berechneten abgestimmten Vorhersage. Wenn beide Bedingungen, die in Schritt 1208 angegeben sind, erfüllt sind, wird der Schritt 1210 bis zur Entscheidung 1216 wiederholt.

[0080] Das iterative Verfahren wird so lange wiederholt, bis die in Schritt 1208 festgelegte Bedingung nicht mehr erfüllt ist; die abgestimmte Vorhersage wird dann in Schritt 1228 berechnet und liefert die Ausgabe in Schritt 1230.

[0081] Fig. 13 zeigt einen Vergleich 1300 gemäß einer Ausführungsform, bei dem die abgestimmten Vorhersagefehler gegen die Basisvorhersagefehler für verschiedene Teile/SKUs aufgetragen werden. Diese Darstellung und die Vorhersagen basieren auf realen Kundendaten, die 80 verschiedene Teile und mehr als 800 Teile-Kunden umfassen. Jeder Kreis in der Grafik entspricht einem Knoten in der mittleren Ebene der Hierarchie (d. h. einem Teil). Die Größe jedes Kreises steht im Verhältnis zum Auftragsvolumen des entsprechenden Knotens.

[0082] Die Linie 1302 mit einer Steigung von 1 zeigt an, wo sich der abgestimmte Vorhersagefehler gegenüber dem Basisvorhersagefehler verbessert hat. Die hierarchische Vorhersageabstimmung hat die Vorhersagegenauigkeit für die Kreise unterhalb der Linie 1302 verbessert (d. h. den Fehler verringert) und die Genauigkeit für die Kreise oberhalb der Linie 1302 verringert (d. h. den Fehler erhöht). Aus dem in Fig. 13 gezeigten Diagramm geht hervor, dass der hierarchische Abgleich die Mehrzahl der Vorhersagen in der Hierarchie verbessert hat, da die meisten Kreise unterhalb der Linie 1302 liegen. Dies spiegelt sich in Punkt 1304 wider, der zeigt, dass der Gesamtvorhersagefehler von 0,3333739 auf 0,308036 reduziert wurde, was einer Verbesserung von 7,6 % entspricht. Der Vorhersagefehler wird mit Hilfe des gewichteten mittleren absoluten Fehlers in Prozent (WMAPE) berechnet.

[0083] Fig. 14 zeigt zwei Diagramme 1400 des Bedarfs im Vergleich zum Datum gemäß einer Ausführungsform.

[0084] In Diagramm 1402 ist die historische Nachfrage 1406 von Juli 2017 bis Juli 2018 dargestellt. Ein Pipeline-Vorhersageprogramm (z. B. die Vorhersage-Pipeline 108 in Fig. 1) wird verwendet, um eine Basisvorhersage 1408 für die Nachfrage ab Juli 2018 zu erstellen. Eine abgestimmte Vorhersage 1410 wird ab Juli 2018 angezeigt.

[0085] Im Diagramm 1404 wird die tatsächliche Nachfrage 1412 ab Juli 2018 im Verhältnis zur abgestimmten Vorhersage 1410 und der Basisvorhersage 1408 dargestellt. Wie aus 1204 ersichtlich, ist die abgestimmte Vorhersage 1410 eine deutliche Verbesserung der vorhergesagten Nachfrage (ab Juli 2018) gegenüber der Basisvorhersage 1408 der Nachfrage.

[0086] Obwohl die oben beschriebenen Algorithmen, einschließlich derer, die sich auf die vorstehenden Flussdiagramme beziehen, separat beschrieben wurden, können zwei oder mehr der hierin offengelegten Algorithmen in jeder beliebigen Kombination kombiniert werden. Alle hier beschriebenen Methoden, Module, Algorithmen, Implementierungen oder Prozeduren können maschinenlesbare Befehle zur

Ausführung durch (a) einen Prozessor, (b) einen Computer, (c) einen Rechner oder (d) einen Computer enthalten: (a) einem Prozessor, (b) einem Controller und/oder (c) einem anderen geeigneten Verarbeitungsgerät. Jeder hier offengelegte Algorithmus, jede Software oder jedes hier offengelegte Verfahren kann in einer Software verkörpert sein, die auf einem nicht-transitorischen, greifbaren Medium gespeichert ist, wie z. B. einem Flash-Speicher, einer CD-ROM, einer Diskette, einer Festplatte, einer Digital Versatile Disk (DVD) oder anderen Speichervorrichtungen, aber Personen, die über gewöhnliche Fachkenntnisse verfügen, werden leicht erkennen, dass der gesamte Algorithmus und/oder Teile davon alternativ von einer anderen Vorrichtung als einem Controller ausgeführt und/oder in Firmware oder dedizierter Hardware in bekannter Weise verkörpert werden könnten (z. B. er kann von einer anwendungsspezifischen integrierten Schaltung (ASIC), einem programmierbaren Logikbaustein (PLD), einem feldprogrammierbaren Logikbaustein (FPLD), diskreter Logik usw. ausgeführt werden). Obwohl spezifische Algorithmen unter Bezugnahme auf die hier dargestellten Flussdiagramme beschrieben werden, werden Personen, die sich mit der Materie auskennen, leicht erkennen, dass viele andere Methoden zur Implementierung der beispielhaften maschinenlesbaren Anweisungen alternativ verwendet werden können. Zum Beispiel kann die Reihenfolge der Ausführung der Blöcke geändert werden und/oder einige der beschriebenen Blöcke können geändert, eliminiert oder kombiniert werden.

[0087] Es sollte beachtet werden, dass die hier dargestellten und diskutierten Algorithmen verschiedene Module haben, die bestimmte Funktionen ausführen und miteinander interagieren. Es sollte verstanden werden, dass diese Module lediglich zum Zweck der Beschreibung nach ihrer Funktion unterteilt sind und Computerhardware und/oder ausführbaren Softwarecode darstellen, der auf einem computerlesbaren Medium zur Ausführung auf geeigneter Computerhardware gespeichert ist. Die verschiedenen Funktionen der unterschiedlichen Module und Einheiten können als Hardware und/oder Software, die auf einem nicht-transitorischen computerlesbaren Medium gespeichert sind, wie oben als Module in beliebiger Weise kombiniert oder getrennt werden und können separat oder in Kombination verwendet werden.

[0088] Besondere Ausführungsformen des Gegenstands sind beschrieben worden. Andere Ausführungsformen fallen in den Anwendungsbereich der folgenden Ansprüche. Beispielsweise können die in den Ansprüchen genannten Vorgänge in einer anderen Reihenfolge ausgeführt werden und dennoch die gewünschten Ergebnisse erzielen. Die in den beigefügten Abbildungen dargestellten Prozesse müssen nicht unbedingt in der dargestellten Reihenfolge

ablaufen, um die erwünschten Ergebnisse zu erzielen. Bei bestimmten Implementierungen können Multitasking und parallele Verarbeitung von Vorteil sein.

Patentansprüche

1. Computerimplementiertes Verfahren zur Vorhersageabstimmung in einer Hierarchie, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:

Empfangen, durch ein Vorverarbeitungsmodul, von Daten, die sich auf die Hierarchie beziehen;

Erzeugen, durch das Vorverarbeitungsmodul, der Hierarchie auf der Grundlage der Daten und einer Summationsmatrix, die sich auf eine Struktur der Hierarchie bezieht;

Empfangen, durch ein Vorhersageabstimmungsmodul, einer Basisvorhersage der Hierarchie, der Summationsmatrix und einer Gewichtungsmatrix, wobei die Gewichtungsmatrix ein Gewichtungsschema für jeden Knoten der Hierarchie widerspiegelt, wobei die Gewichtungsmatrix entweder durch das Vorverarbeitungsmodul oder das Vorhersageabstimmungsmodul erzeugt wird;

Erzeugen, durch das Vorhersageabstimmungsmodul, einer abgestimmten Vorhersage auf der Grundlage einer Optimierungstechnik der kleinsten Quadrate zum Projizieren der Basisvorhersage auf eine unterste Ebene der Hierarchie, abhängig von einer Bedingung für jeden Knoten der untersten Ebene der Hierarchie.

2. Computerimplementiertes Verfahren nach Anspruch 1, wobei die abgestimmte Vorhersage auf einem nicht-negativen Verfahren zur Optimierung der kleinsten Quadrate basiert.

3. Computerimplementiertes Verfahren nach Anspruch 1, wobei die abgestimmte Vorhersage auf einer iterativen Optimierung basiert, bei der jeder Knoten der Vorhersage der untersten Ebene innerhalb eines entsprechenden Bereichs begrenzt wird.

4. Computerimplementiertes Verfahren nach Anspruch 1, wobei jeder Eintrag der Gewichtungsmatrix mit einer oder mehreren Metriken der Hierarchie in Beziehung steht.

5. Computerimplementiertes Verfahren nach Anspruch 4, wobei die Gewichtungsmatrix diagonal ist.

6. Computerimplementiertes Verfahren nach Anspruch 1, wobei jeder Eintrag der Gewichtungsmatrix mit einem Vorhersagefehler jedes Knotens der Hierarchie in Beziehung steht.

7. Computerimplementiertes Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Vorverarbeitungsmodul mindestens einen der folgenden Schritte durchführt:

i) Entfernen eines oder mehrerer Knoten der Hierarchie, die einen Nullwert oder einen Wert kleiner als einen Schwellenwert haben;

ii) Auffüllen eines oder mehrerer fehlender Datensätze der Hierarchie auf der Grundlage von Geschwisterinformationen; und

iii) Extrahieren von rollierenden Merkmalen auf allen Ebenen der Hierarchie.

8. Eine Rechenvorrichtung, wobei die Rechenvorrichtung umfasst:

einen Prozessor; und

einen Speicher, der Anweisungen speichert, die, wenn sie vom Prozessor ausgeführt werden, die Vorrichtung für die folgenden Schritte konfigurieren

Empfangen, durch ein Vorverarbeitungsmodul, von Daten, die sich auf die Hierarchie beziehen;

Erzeugen, durch das Vorverarbeitungsmodul, der Hierarchie auf der Grundlage der Daten und einer Summationsmatrix, die sich auf eine Struktur der Hierarchie bezieht;

Empfangen, durch ein Vorhersageabstimmungsmodul, einer Basisvorhersage der Hierarchie, der Summationsmatrix und einer Gewichtungsmatrix, wobei die Gewichtungsmatrix ein Gewichtungsschema für jeden Knoten der Hierarchie widerspiegelt, wobei die Gewichtungsmatrix entweder durch das Vorverarbeitungsmodul oder das Vorhersageabstimmungsmodul erzeugt wird;

Erzeugen, durch das Vorhersageabstimmungsmodul, einer abgestimmten Vorhersage auf der Grundlage einer Optimierungstechnik der kleinsten Quadrate zum Projizieren der Basisvorhersage auf eine unterste Ebene der Hierarchie, abhängig von einer Bedingung für jeden Knoten der untersten Ebene der Hierarchie.

9. Rechenvorrichtung nach Anspruch 8, wobei die abgestimmte Vorhersage auf einem nichtnegativen Verfahren zur Optimierung der kleinsten Quadrate basiert.

10. Rechenvorrichtung nach Anspruch 8, wobei die abgestimmte Vorhersage auf einer iterativen Optimierung basiert, bei der jeder Knoten der Vorhersage der untersten Ebene innerhalb eines entsprechenden Bereichs begrenzt ist.

11. Berechnungsvorrichtung nach Anspruch 8, wobei jeder Eintrag der Gewichtungsmatrix mit einer oder mehreren Metriken der Hierarchie in Beziehung steht.

12. Berechnungsvorrichtung nach Anspruch 11, wobei die Gewichtungsmatrix diagonal ist.

13. Rechenvorrichtung nach Anspruch 8, wobei jeder Eintrag der Gewichtungsmatrix mit einem Vorhersagefehler jedes Knotens der Hierarchie in Beziehung steht.

14. Rechenvorrichtung nach Anspruch 8, wobei das Vorverarbeitungsmodul mindestens einen der folgenden Schritte durchführt:

- i) Entfernen eines oder mehrerer Knoten der Hierarchie, die einen Nullwert oder einen Wert kleiner als einen Schwellenwert haben;
- ii) Auffüllen eines oder mehrerer fehlender Datensätze der Hierarchie auf der Grundlage von Geschwisterinformationen; und
- iii) Extrahieren von rollierenden Merkmalen auf allen Ebenen der Hierarchie.

15. Ein nicht-transitorisches computerlesbares Speichermedium, wobei das computerlesbare Speichermedium Anweisungen enthält, die, wenn sie von einem Computer ausgeführt werden, den Computer veranlassen,:

Empfangen, durch ein Vorverarbeitungsmodul, von Daten, die sich auf die Hierarchie beziehen;

Erzeugen, durch das Vorverarbeitungsmodul, der Hierarchie auf der Grundlage der Daten und einer Summationsmatrix, die sich auf eine Struktur der Hierarchie bezieht;

Empfangen, durch ein Vorhersageabstimmungsmodul, einer Basisvorhersage der Hierarchie, der Summationsmatrix und einer Gewichtungsmatrix, wobei die Gewichtungsmatrix ein Gewichtungsschema für jeden Knoten der Hierarchie widerspiegelt, wobei die Gewichtungsmatrix entweder durch das Vorverarbeitungsmodul oder das Vorhersageabstimmungsmodul erzeugt wird;

Erzeugen, durch das Vorhersageabstimmungsmodul, einer abgestimmten Vorhersage auf der Grundlage einer Optimierungstechnik der kleinsten Quadrate zum Projizieren der Basisvorhersage auf eine unterste Ebene der Hierarchie, abhängig von einer Bedingung für jeden Knoten der untersten Ebene der Hierarchie.

16. Computerlesbares Speichermedium nach Anspruch 15, wobei die abgestimmte Vorhersage auf einem nicht-negativen Optimierungsverfahren der kleinsten Quadrate basiert.

17. Computerlesbares Speichermedium nach Anspruch 15, wobei die abgestimmte Vorhersage auf einer iterativen Optimierung basiert, bei der jeder Knoten der Vorhersage der untersten Ebene innerhalb eines entsprechenden Bereichs begrenzt wird.

18. Computerlesbares Speichermedium nach Anspruch 15, wobei jeder Eintrag der Gewichtungsmatrix auf eine oder mehrere Metriken der Hierarchie bezogen ist.

19. Computerlesbares Speichermedium nach Anspruch 18, wobei die Gewichtungsmatrix diagonal ist.

20. Computerlesbares Speichermedium nach Anspruch 15, wobei jeder Eintrag der Gewichtungsmatrix mit einem Vorhersagefehler jedes Knotens der Hierarchie in Beziehung steht.

Es folgen 14 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

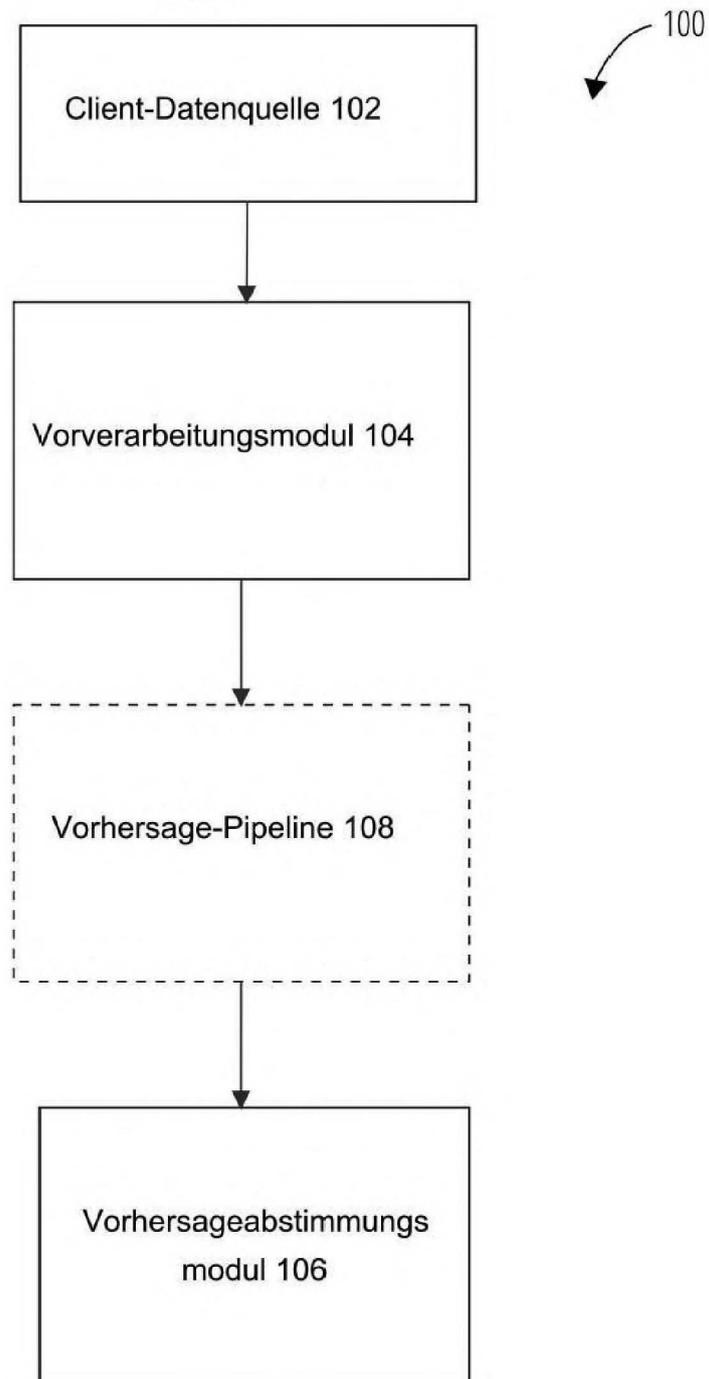


FIG. 1

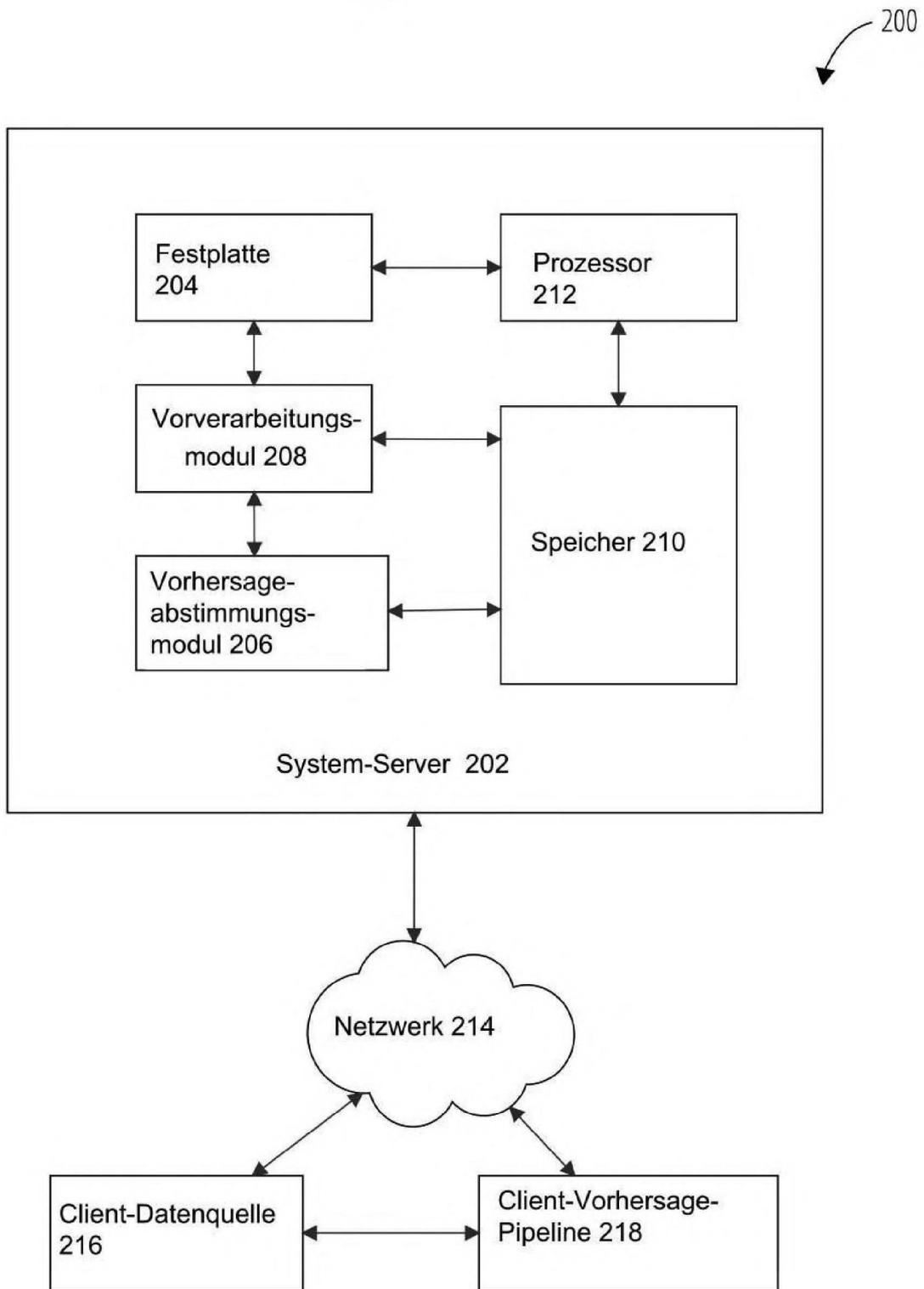


FIG. 2

300

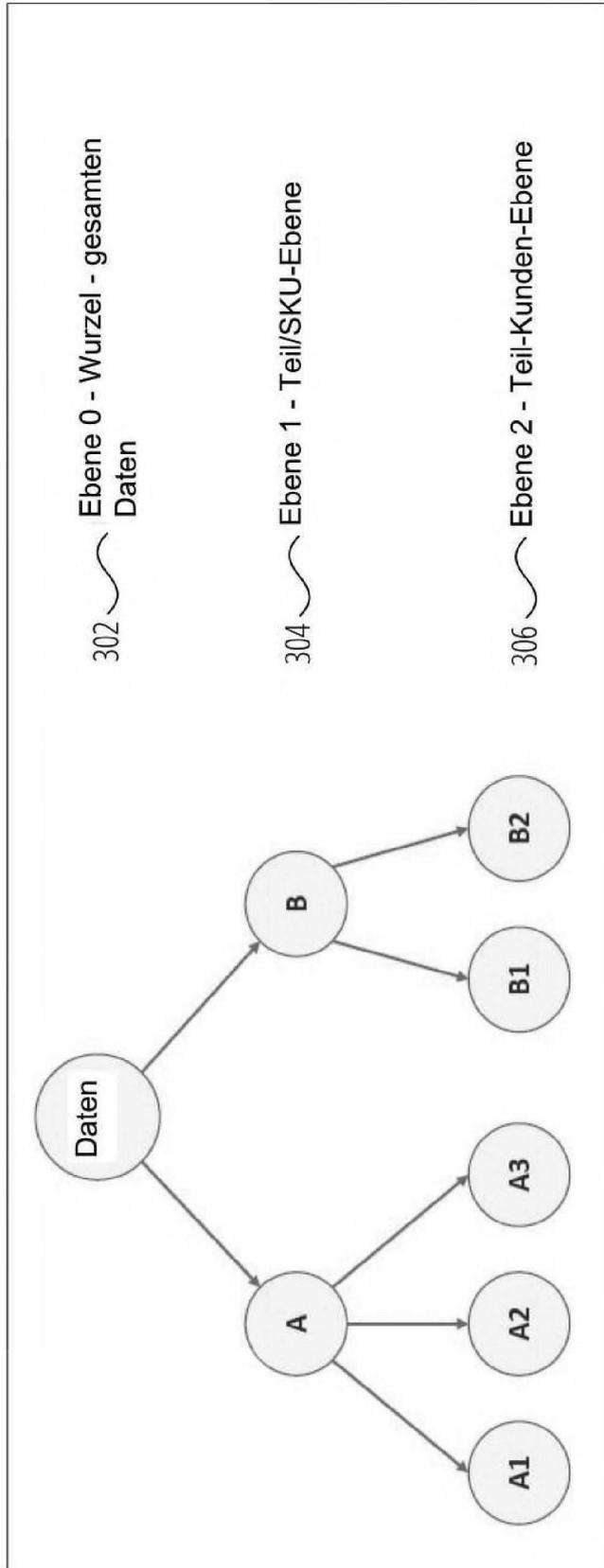


FIG. 3

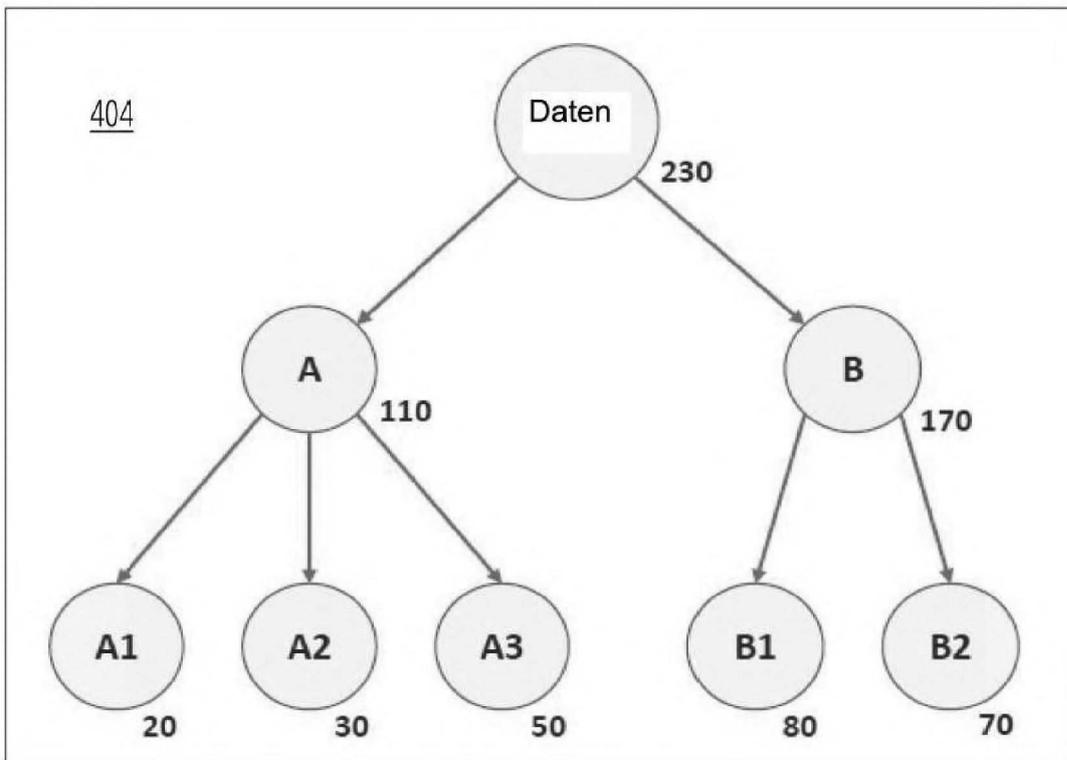
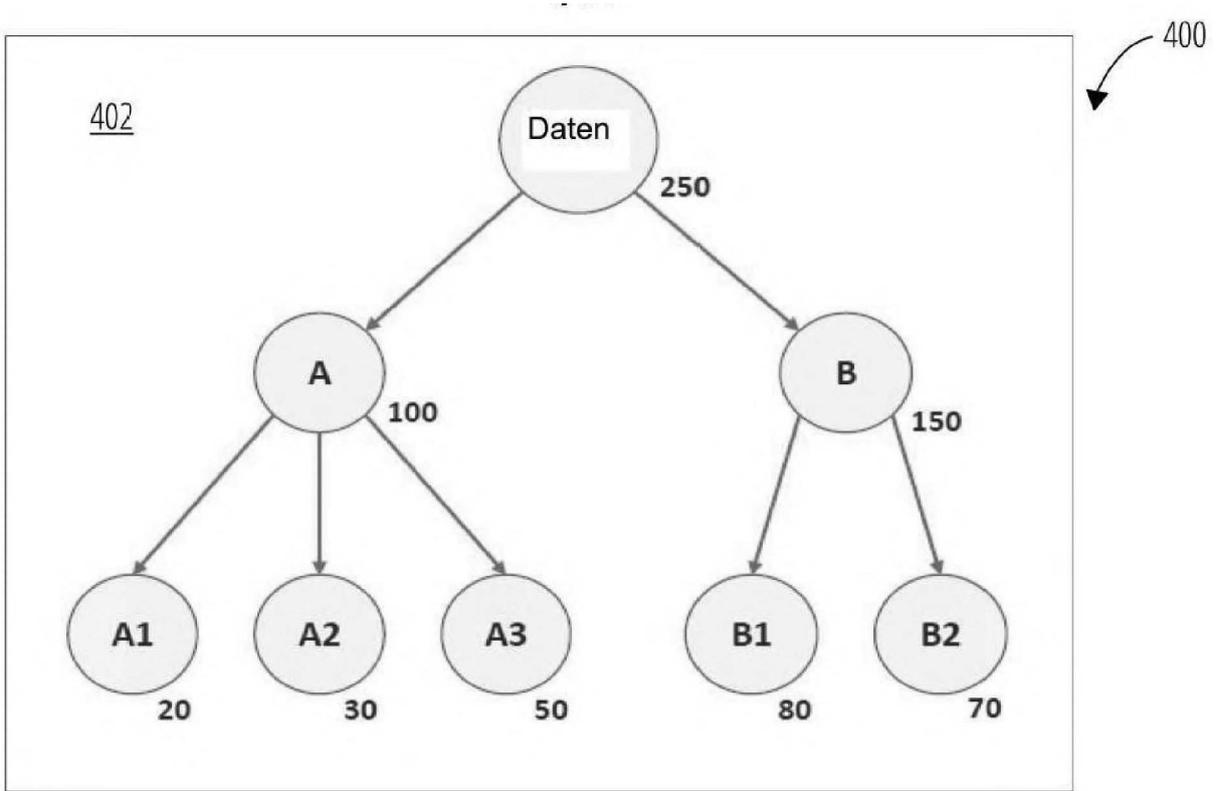


FIG. 4

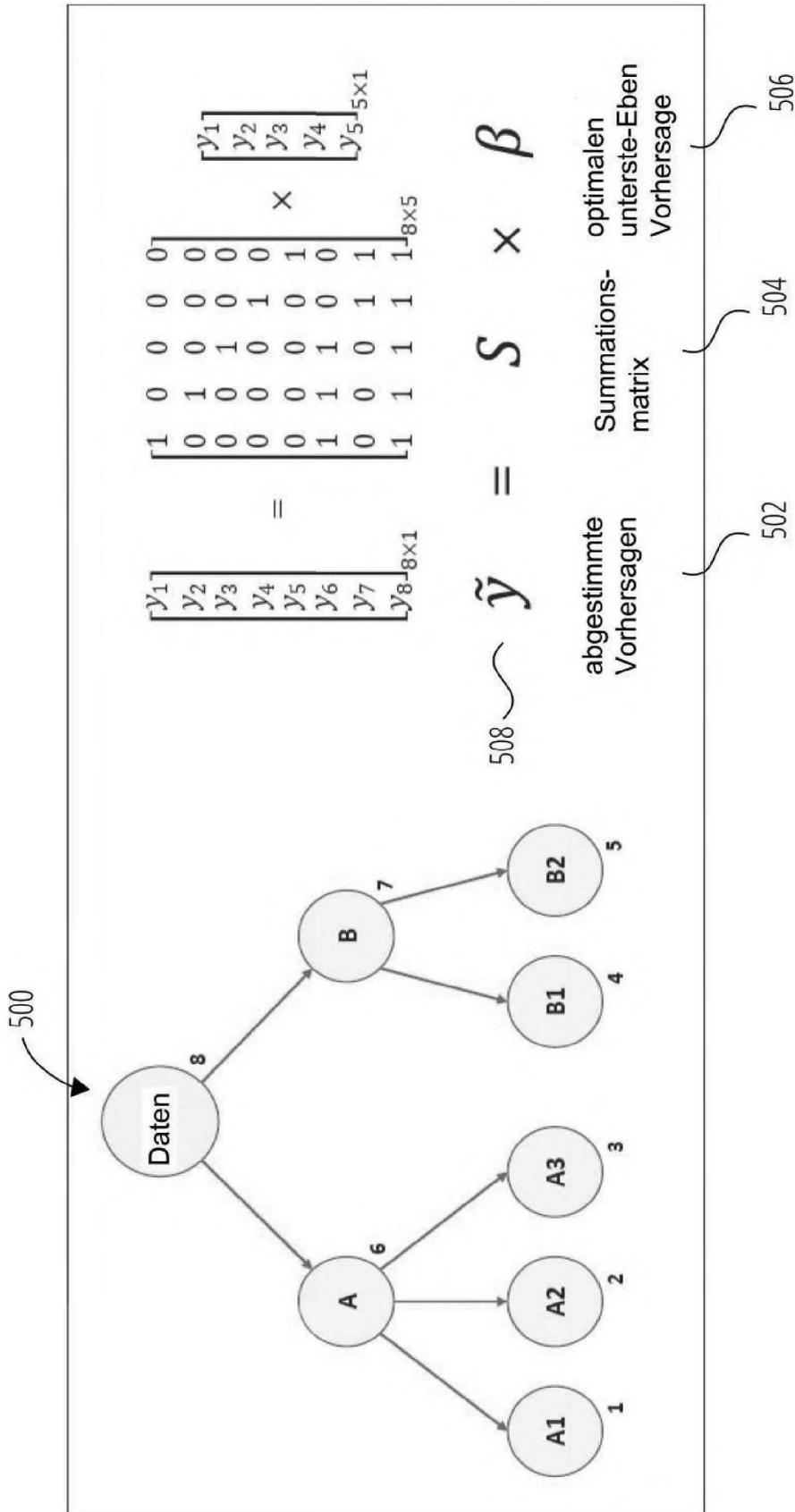


FIG. 5

Symbol	Bedeutung
m	Gesamtzahl der Knoten in der Hierarchie/ dem Baum
y	Actuals - Vektor der Istwerte an allen Knotenpunkten
\hat{y}	Basisvorhersagen - Vektor der Vorhersagen an allen Knotenpunkten
\bar{y}	Abgestimmte Vorhersagen - Vektor der abgestimmten Vorhersagen an allen Knotenpunkten
β	Vektor der optimalen Bottom-Level-Vorhersagen
S	Summations- oder Aggregationsmatrix, die Prognosen der untersten Ebene zu Vorhersagen für alle Ebenen aggregiert
P	Projektionsmatrix, die aus den Vorhersagen der untersten Ebene optimale Vorhersagen ermittelt aller Ebenen
$\hat{\epsilon}_h$	Kohärenz/Konsistenzfehler der Basisvorhersagen
$\bar{\epsilon}_h$	Kohärenz/Konsistenzfehler der abgestimmten Vorhersagen
$\hat{\epsilon}_f$	Basisfehler der Vorhersagen
$\bar{\epsilon}_f$	Abgestimmter Vorhersagefehler
W	Die für die Optimierung verwendete $m \times m$ -Gewichtungsmatrix
l	Der Vektor der Untergrenzen für die Vorhersagen
u	Der Vektor der Obergrenzen für die Vorhersagen
$\ \cdot\ _2$	Euklidische Norm des Vektors

FIG. 6

700

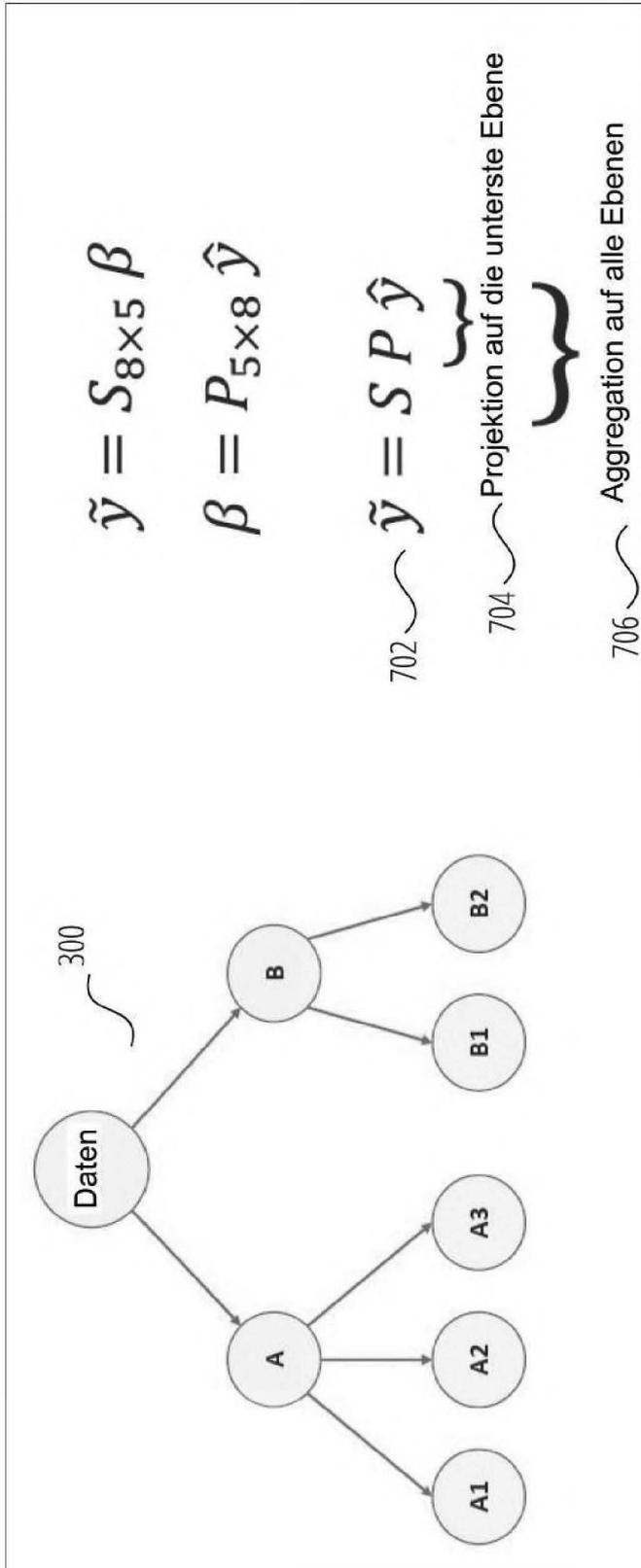


FIG. 7

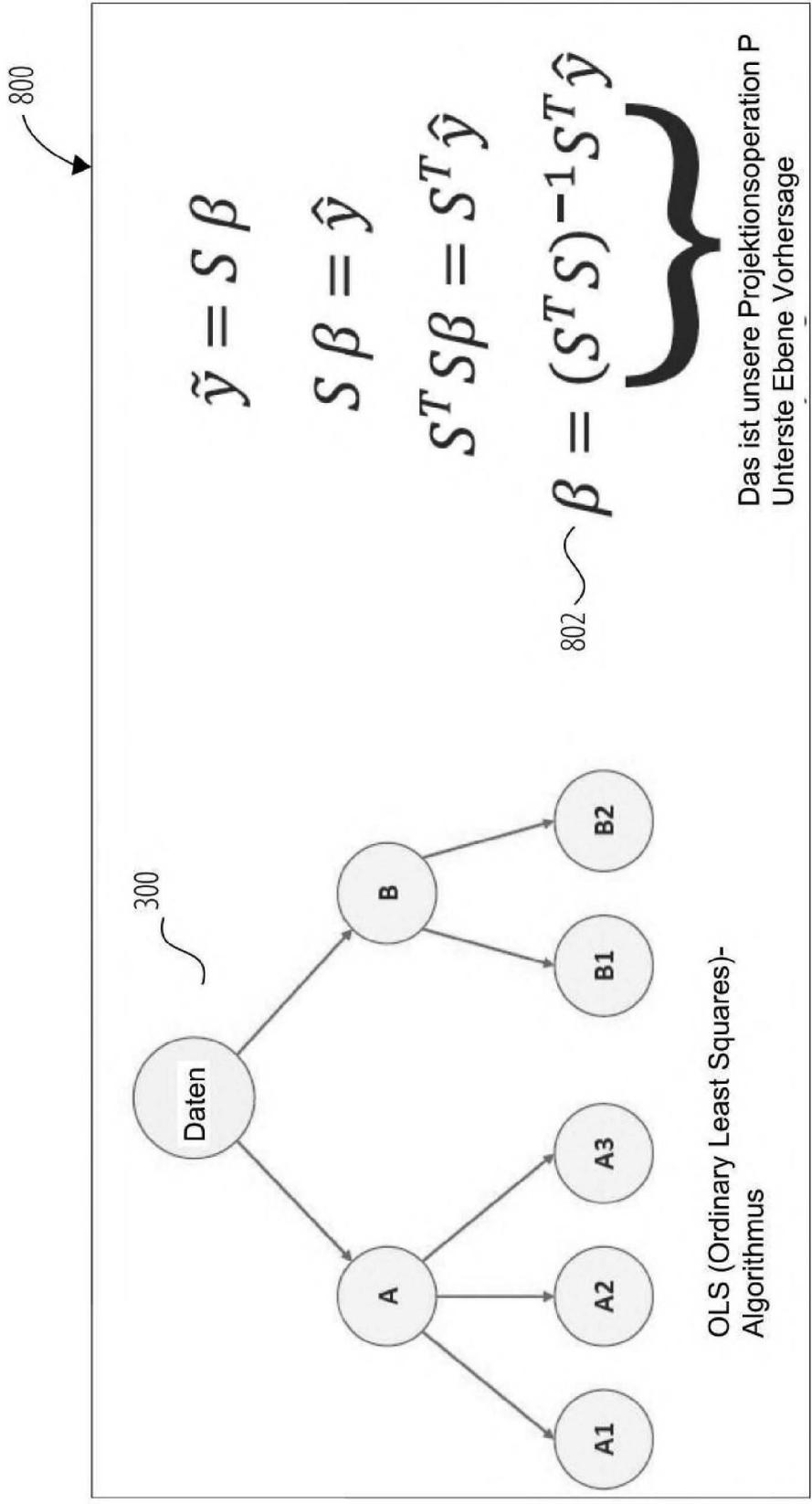


FIG. 8

900

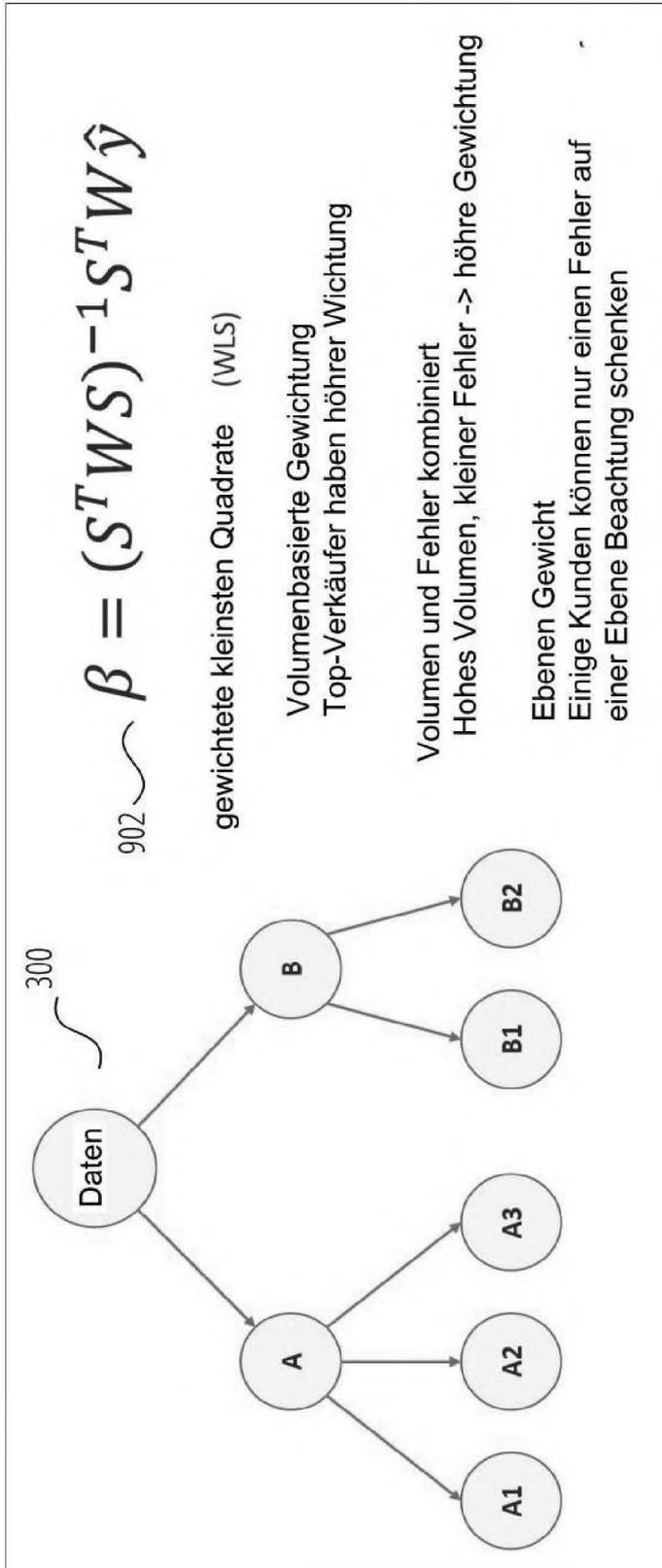


FIG. 9

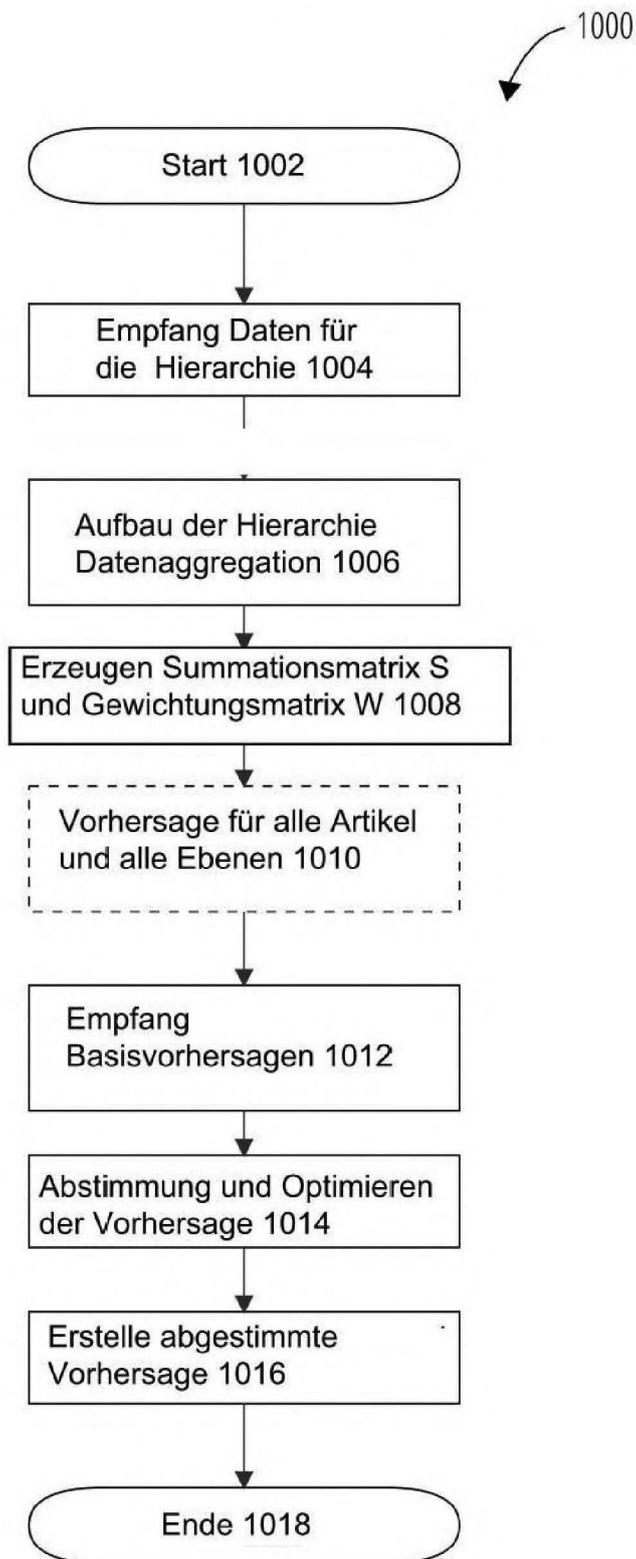


FIG. 10

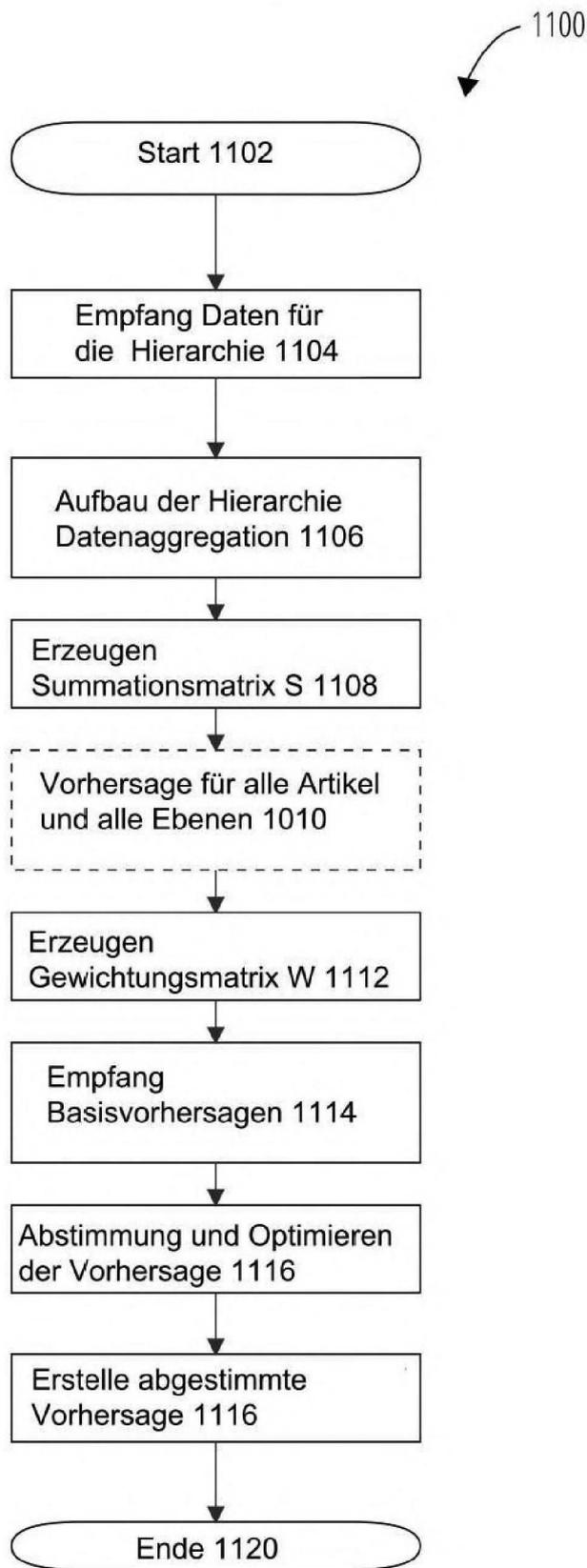
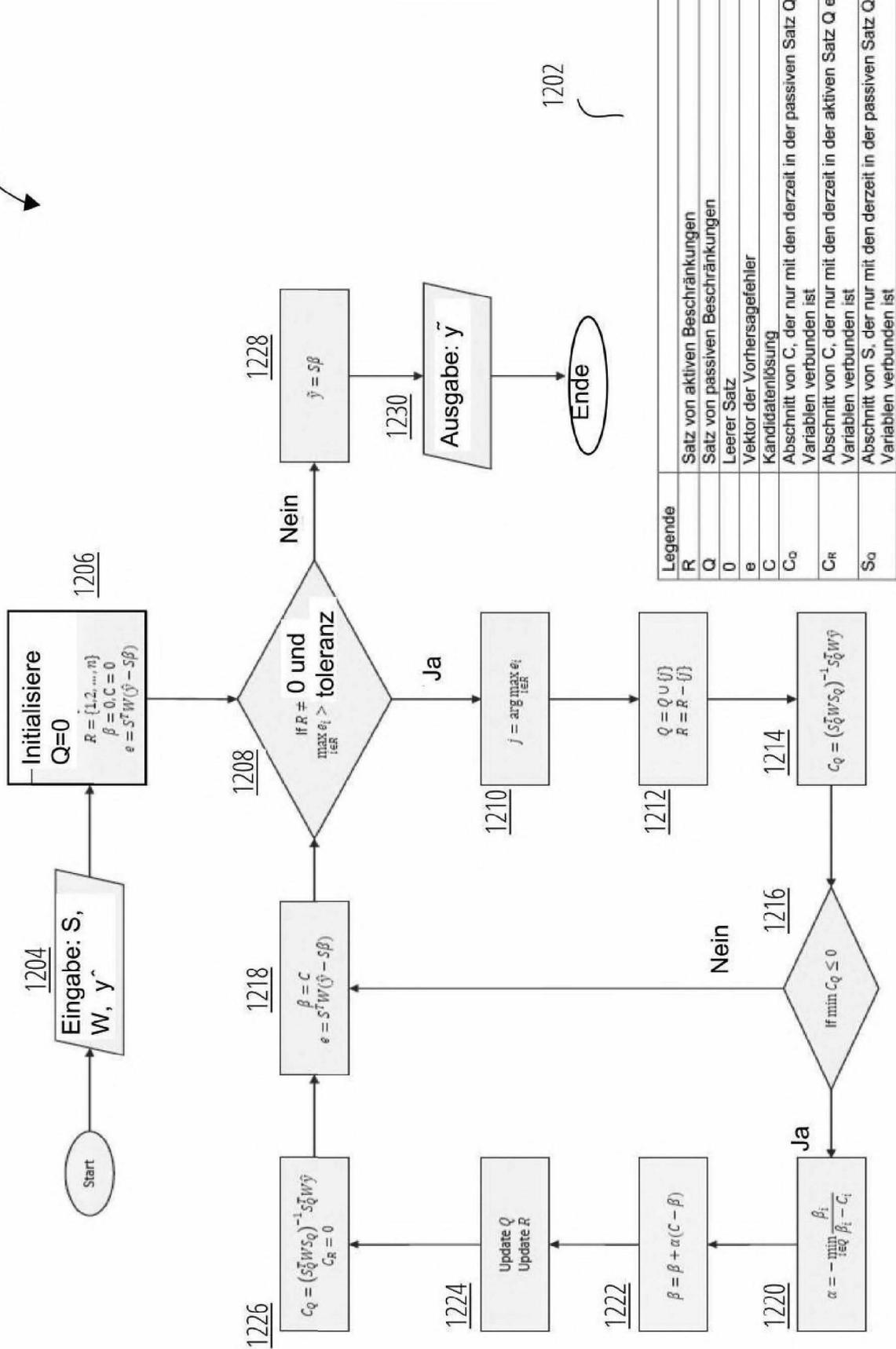


FIG. 11

1200 ↗



Legende	
R	Satz von aktiven Beschränkungen
Q	Satz von passiven Beschränkungen
0	Leerer Satz
e	Vektor der Vorhersagefehler
C	Kandidatenlösung
C _Q	Abschnitt von C, der nur mit den derzeit in der passiven Satz Q enthaltenen Variablen verbunden ist
C _R	Abschnitt von C, der nur mit den derzeit in der aktiven Satz Q enthaltenen Variablen verbunden ist
S _Q	Abschnitt von S, der nur mit den derzeit in der passiven Satz Q enthaltenen Variablen verbunden ist

FIG. 12

1300

Vergleich von Basisvorhersagefehlern und abgestimmten Vorhersagefehler.
Jeder Punkt ist SKU/Teil.

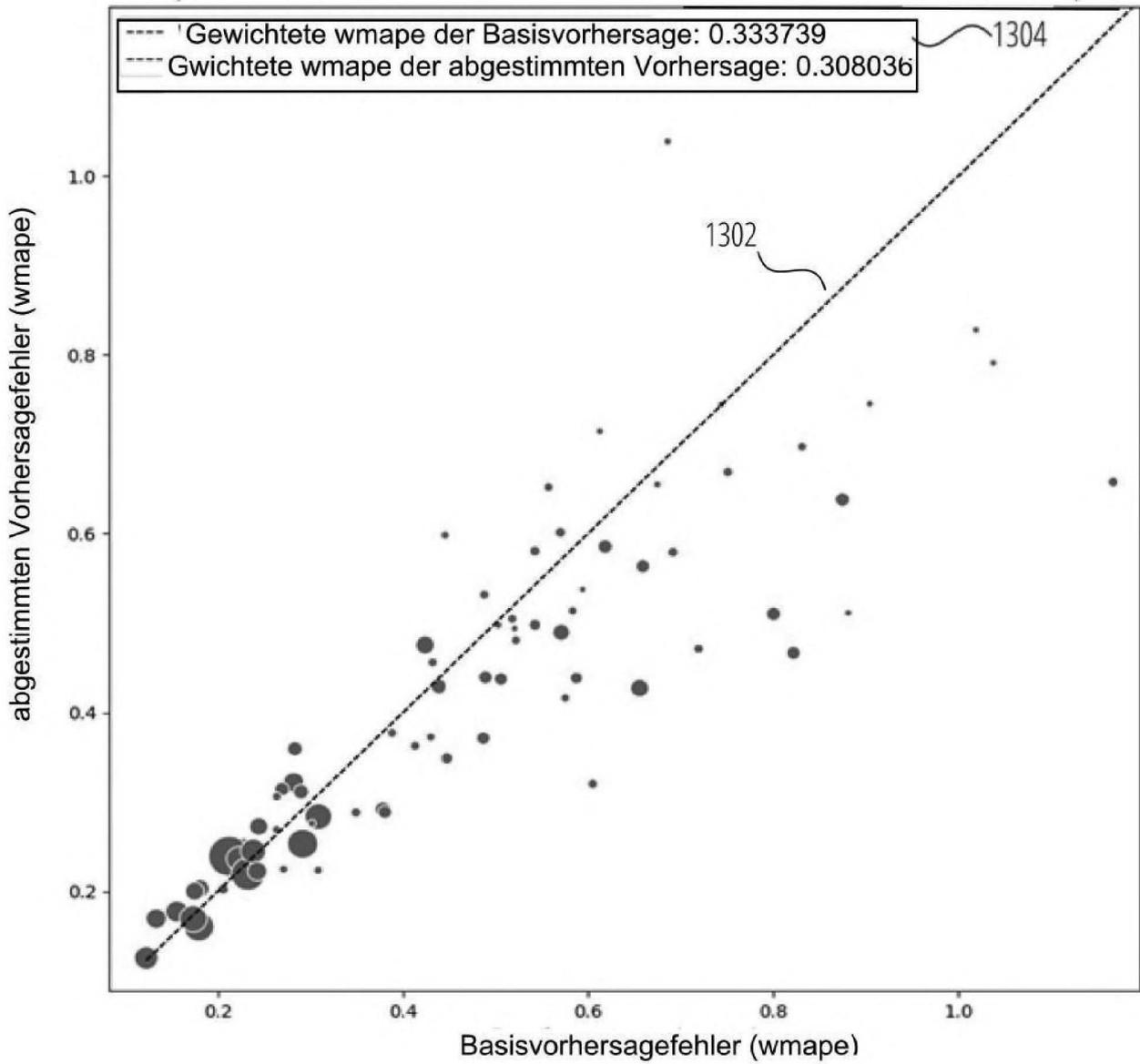


FIG. 13

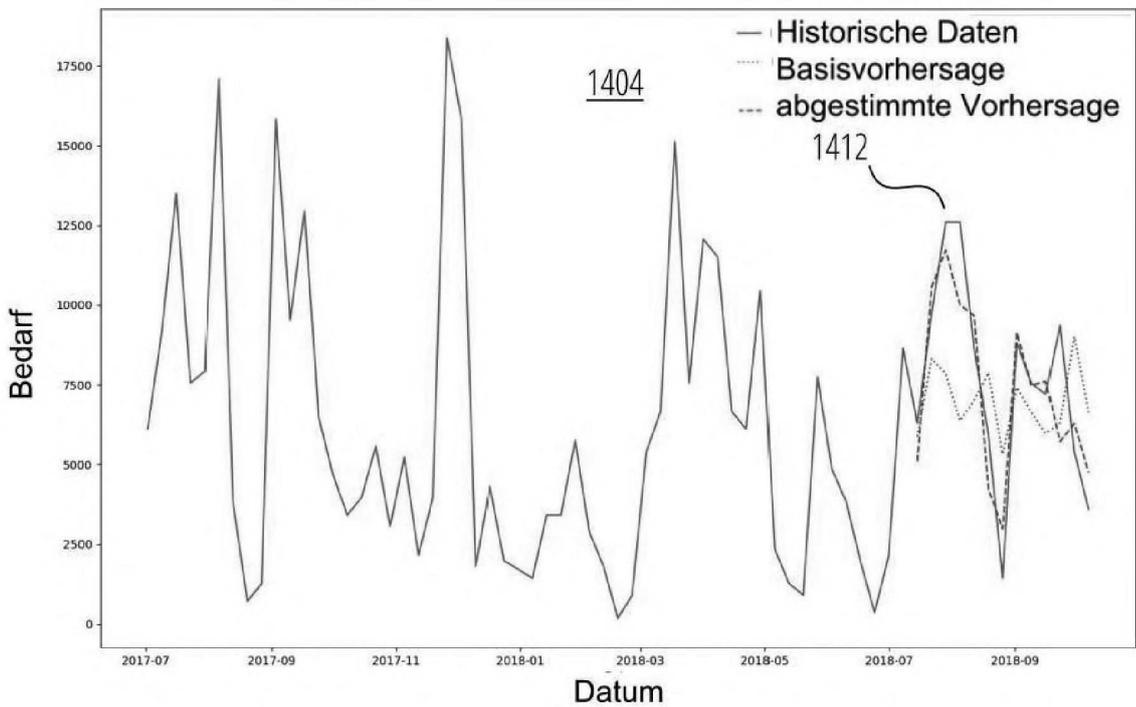
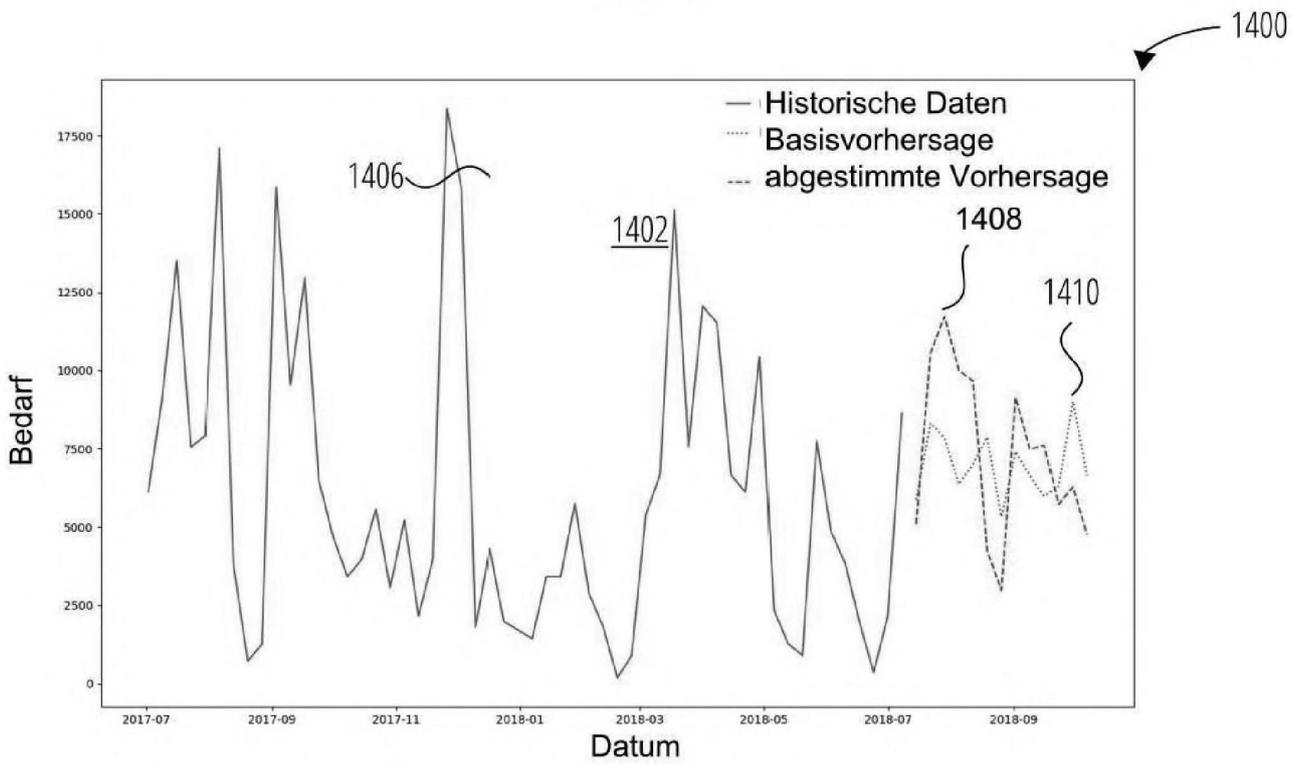


FIG. 14